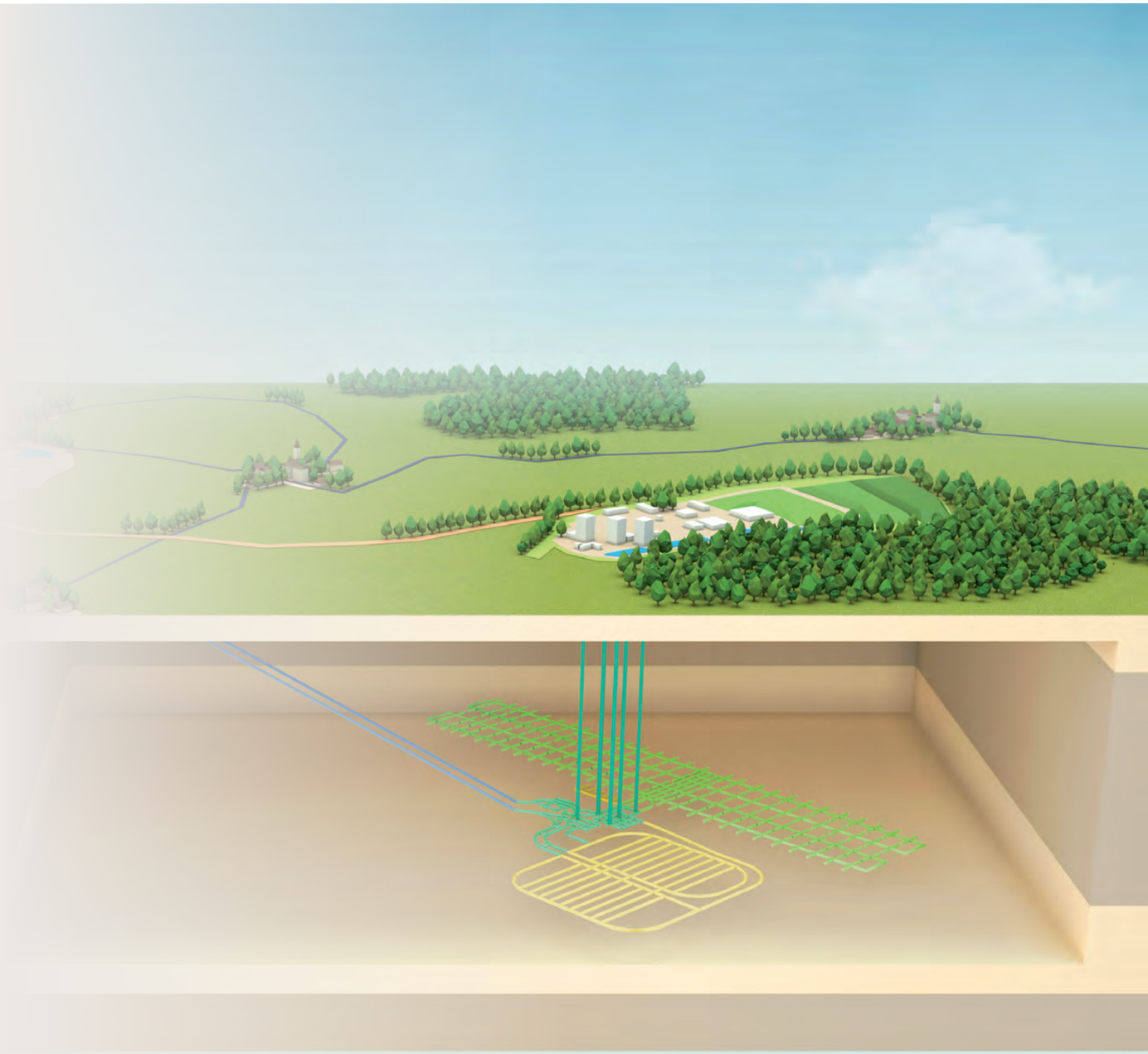
RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Décembre 2022

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



PIÈCE 6

Étude d'impact du projet global Cigéo

Volume 7
Méthodes de réalisation

Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo
Pièce 6 : Étude d'impact du projet global Cigéo
Volume 7 : Méthodes de réalisation

CG-TE-D-EDM-AMOA-ESE-0000-22-0005/A

Sommaire

1. Méthode générale de réalisation des études d'impact 9

1.1 Démarche itérative de l'étude d'impact 10

1.1.1 Des niveaux d'études adaptés à l'avancement de la conception et des concertations préalables de chaque opération du projet global Cigéo 10
1.1.2 Méthode générale de description de l'état initial 12
1.1.3 Méthode générale pour la définition des incidences et mesures 14

1.2 Définition des aires d'étude 17

1.2.1 Typologie des aires d'étude 17
1.2.2 Description des aires d'étude associées aux facteurs de l'environnement 19

2. Atmosphère - Méthodes 31

2.1 La caractérisation du milieu atmosphérique 32

2.2 Conditions météorologiques locales 32

2.2.1 État initial 32
2.2.2 Incidences 36

2.3 Vulnérabilité aux risques météorologiques 36

2.3.1 État initial 36
2.3.2 Incidences 36

2.4 Énergie et gaz à effet de serre 37

2.4.1 État initial 37
2.4.2 Incidences 37

2.5 Qualité de l'air 38

2.5.1 Émissions conventionnelles 38
2.5.2 Émissions radioactives 43

3. Sols - Méthodes 53

3.1 Géomorphologie 54

3.2 Occupation du sol 54

3.3 Pédologie 54

3.3.1 Carte pédologique 54
3.3.2 Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols 55
3.3.3 Caractéristiques radiologiques des sols 55
3.3.4 Sites et sols pollués ou potentiellement pollués 55

3.4 Analyse des incidences sur le sol 56

4. Sous-sol - Méthodes 57

4.1 État initial 58

4.1.1 Milieu géologique du secteur de Meuse/Haute-Marne : tectonique et stratigraphie 58
4.1.2 Caractéristiques radiologiques du sous-sol 58
4.1.3 Caractéristiques radiologiques des eaux porales 58
4.1.4 Ressources naturelles potentielles du sous-sol 58
4.1.5 Risques naturels liés à la géologie 59

4.2 Incidences 59

4.2.1 Pollution accidentelle physico-chimique 59
4.2.2 Confinement des radionucléides et substances toxiques chimiques 59
4.2.3 Vulnérabilité au risque sismique d'origine naturelle et anthropique 59
4.2.4 Risque de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements 60
4.2.5 Ressources du sous-sol 60

5. Eaux - Méthodes 61

5.1 Définition de l'état initial 62

5.1.1 Réglementation et exigences 62
5.1.2 Eaux souterraines 64
5.1.3 Eaux superficielles 70

5.2 Évaluation des incidences 82

5.2.1 Eaux souterraines 82
5.2.2 Eaux superficielles 105

6. Biodiversité et milieu naturel - Méthodes 139

6.1 État initial du milieu naturel 140

6.1.1 Recensement des zonages environnementaux 140
6.1.2 Analyse bibliographique et réalisation d'inventaires faune-flore 140
6.1.3 Inventaires des habitats et de la flore 146
6.1.4 Inventaires de la faune 147
6.1.5 Délimitation des zones humides 167
6.1.6 Continuités écologiques 172
6.1.7 État radiologique initial 173
6.1.8 Appréciation des enjeux écologiques 174
6.1.9 Appréciation des niveaux d'intérêt des habitats d'espèces 178
6.1.10 Synthèse de la démarche d'analyse de l'état initial du milieu naturel 178

6.2 Incidences sur le milieu naturel 182

6.2.1 Effets du projet sur l'environnement 182
6.2.2 Évaluation des niveaux d'incidences 185
6.2.3 Incidences sur les zonages environnementaux 185
6.2.4 Incidences sur les zones humides 186
6.2.5 Incidences sur les continuités écologiques 186
6.2.6 Incidences radiologiques 186

6.3 Compensation écologique 188

6.3.1 Les grands principes de la compensation écologique 188
6.3.2 Principes généraux retenus par l'Andra 188
6.3.3 Méthode de dimensionnement de la dette et du gain écologiques des fonctionnalités des habitats 191

6.4 Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000 199

6.4.1 Méthode de traitement et d'analyse des données 199
6.4.2 Définition des zones d'études 200
6.4.3 Évaluation préliminaire : sites Natura 2000 susceptibles d'être affectés 201
6.4.4 Évaluation détaillée des sites Natura 2000 retenus 201
6.4.5 Cumul des incidences du projet global Cigéo avec d'autres projets existants ou approuvés 205

7. Population, emploi, activités économiques et habitat - Méthodes 207

7.1 Aires d'étude pour la population, l'emploi et les activités économiques 208
7.2 Population 209
7.2.1 État initial 209
7.2.2 Évaluation des incidences 209
7.3 Emploi et activités économiques 209
7.3.1 État initial 209
7.3.2 Évaluation des incidences 210
7.4 Habitat 211
7.4.1 État initial 211
7.4.2 Évaluation des incidences 211

8. Activités agricoles et sylvicoles - Méthodes 213

8.1 État initial des activités agricoles et sylvicoles 214
8.2 Évaluation des incidences sur les activités agricoles et du besoin de compensation 215
8.2.1 Appréciation du besoin de compensation : diminution des productions liée à la perte de terres agricoles 216
8.2.2 Appréciation du besoin de compensation : changement des pratiques agricoles pour la mise en œuvre de mesures compensatoires 216
8.2.3 Besoin de compensation pour les productions agricoles sous SIQO 217
8.3 Détermination de la compensation collective agricole 217
8.4 Évaluation des incidences sur les activités sylvicoles et du besoin de compensation 219
8.5 Détermination de la compensation forestière 219

9. Réseaux - Méthodes 221

9.1 État initial des réseaux 222
9.2 Évaluation des incidences sur les réseaux 222

10. Déchets radioactifs et conventionnels – Méthodes 223

10.1 Déchets radioactifs 224
10.1.1 État initial 224
10.1.2 Incidences et mesures 224
10.2 Déchets conventionnels 224
10.2.1 État initial 224
10.2.2 Incidences et mesures 224

11. Risques et vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs - Méthodes 227

11.1 État initial : identification et présentation des risques externes 228
11.1.1 Recensement des risques d'origine naturelle 228
11.1.2 Recensement des risques d'origine anthropique 228
11.2 Incidences 228
11.2.1 Vulnérabilité aux risques d'accidents et de catastrophes majeurs 229
11.2.2 Incidences des risques induits par le projet global Cigéo 229

12. Infrastructures de transport - Méthodes 231

12.1 Cadrage réglementaire des infrastructures de transport du projet global Cigéo 232
12.2 Recensement des infrastructures de transport 232
12.3 Méthodologie d'évaluation du trafic à l'état initial, des évolutions du trafic, des conditions de circulations et des méthodes de calcul 232
12.3.1 Trafic ferroviaire 232
12.3.2 Trafic routier pour le centre de stockage Cigéo 232
12.3.3 Trafic routier pour les autres opérations du projet global Cigéo 243
12.4 Méthodologie utilisée pour le rétablissement des voiries interceptées 243
12.5 Méthodologie utilisée dans le calcul des consommations énergétiques 243
12.5.1 Méthodologie appliquée 243
12.5.2 Notion de tonne d'équivalent-pétrole 244
12.5.3 Consommations unitaires des véhicules de transport 244
12.6 Méthodologie pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité 245
12.6.1 Méthodologie appliquée pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances 245
12.6.2 Méthodologie appliquée pour le bilan coûts-avantages pour la collectivité 246

13. Cadre de vie – Méthodes 251

13.1 Environnement sonore 252
13.1.1 Réglementation 252
13.1.2 État initial 252
13.1.3 Incidences 252
13.2 Environnement vibratoire 254
13.2.1 Réglementation 254
13.2.2 État initial 254
13.2.3 Incidences 255
13.3 Environnement lumineux 255
13.3.1 Réglementation 255
13.3.2 État initial 256
13.3.3 Incidences 256
13.4 Environnement olfactif 256
13.4.1 Réglementation 256
13.4.2 État initial 256
13.4.3 Incidences 256
13.5 Champs électriques et magnétiques 256
13.5.1 Réglementation 256
13.5.2 État initial 256
13.5.3 Incidences 256

14. Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs - Méthodes 257

14.1 Paysage 258
14.1.1 État initial du paysage 258
14.1.2 Évaluation des incidences sur le paysage 261
14.2 Patrimoine culturel 265
14.2.1 État initial du patrimoine culturel 265
14.2.2 Incidences sur le patrimoine culturel 265
14.3 Activités de loisirs, de plein air et tourisme 265
14.3.1 Recensement des activités de loisirs, de plein air et tourisme (état initial) 265

14.3.2 Évaluation des incidences sur les activités de loisirs, de plein air et tourisme 265

15. Planification territoriale - Méthodes 267

15.1 État initial de la planification territoriale et de l'aménagement du territoire 268

15.2 Incidence du projet sur l'aménagement du territoire en lien avec le développement induit de l'urbanisation 268

16. Interactions et incidences cumulées - Méthodes 269

16.1 Méthode pour la caractérisation des interactions et les services écosystémiques 270

16.1.1 Des interactions entre milieux aux services écosystémiques 270
16.1.2 Caractérisation des interactions entre le milieu physique, naturel et humain 270
16.1.3 Caractérisation des services écosystémiques 270

16.2 Méthode pour l'évaluation du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés 274

16.2.1 Réglementation 274
16.2.2 Notion de cumul des incidences 274
16.2.3 Recensement des projets existants et approuvés 275
16.2.4 Analyse des incidences cumulées avec le projet global Cigéo 277

17. Meilleures techniques disponibles 279

17.1 Contexte règlementaire 280

17.2 Catégories d'activités de l'annexe I de la directive IED concernées 280

17.3 Documents de référence retenus pour l'analyse 281

17.3.1 Dans le champ d'application de la directive IED 281
17.3.2 Hors champ d'application de la directive IED 284

17.4 Proposition de MTD spécifiques à l'activité de stockage souterrain de déchets radioactifs dans le centre de stockage Cigéo 284

18. Démarche d'évaluation des incidences après fermeture 285

18.1 Opérations de démantèlement et de fermeture 286

18.2 Stockage après fermeture 286

Annexes 287

Annexe 1 Valeurs seuils relatives à la qualité de l'air 288

Annexe 2 Caractéristiques des sources d'émission atmosphériques 290

2.1 En phase de construction initiale 290

2.1.1 Centre de stockage Cigéo 290
2.1.2 Trafic circulant sur le réseau routier principal 291
2.1.3 Véhicules circulant sur la liaison intersites 291

2.2 En phase de fonctionnement 292

2.2.1 Centre de stockage 292
2.2.2 Trafic circulant sur le réseau routier principal 293
2.2.3 Véhicules circulant sur la liaison intersites 293

Annexe 3 Détermination des coefficients de Montana avec les différents ajustements de Montana (fréquence de retour 2 ans, 10 ans et 100 ans) 294

3.1 Résultats 294

3.2 Discussions - Conclusion 299

3.2.1 Comparaison des données médianes de Météo-France et d'autres sources 299
3.2.2 Commentaires sur les nouveaux ajustements de Montana 301

Annexe 4 Définition des pluies centennales de référence 309

4.1 Pluies centennales utilisées pour les dimensionnements 309

4.1.1 Résultats 310
4.1.2 Discussions et conclusion 317

4.2 Pluies centennales utilisées pour le modèle global 317

4.2.1 Résultats 318
4.2.2 Discussions et conclusion 319

Annexe 5 Substances prises en compte dans la caractérisation de l'état des cours d'eau 320

5.1 Synthèse des polluants 320

Annexe 6 Substances prises en compte dans la caractérisation de l'état des masses d'eau souterraines 325

6.1 Paramètres et polluants de l'état de la masse d'eau souterraine 325

Annexe 7 Détail des dates et conditions des prospections faune-flore-habitats 326

7.1 Détail des prospections de terrain pour les raccordements électriques 326

7.2 Détail des prospections de terrain pour le projet de centre de stockage Cigéo 326

7.3 Détail des prospections de terrain pour la ligne ferroviaire 027000 336

7.4 Calendrier des sondages pédologiques pour identification des zones humides 337

Annexe 8 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces 338

8.1 Référentiel habitats et qualification de l'état de conservation 338

8.1.1 Les habitats d'eaux courantes : 338
8.1.2 Eaux stagnantes 338
8.1.3 Forêts et lisières 338
8.1.4 Milieux semi-ouverts/buissonnants 339
8.1.5 Milieux ouverts 340
8.1.6 Milieux ouverts humides 342
8.1.7 Milieux agricoles 342
8.1.8 Milieux plantés ou anthropiques 342

8.2 Détermination des cortèges d'espèces 343

8.3 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces par cortège 345

8.3.1 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des insectes 345
8.3.2 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des amphibiens 349
8.3.3 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des reptiles 356
8.3.4 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des oiseaux 359
8.3.5 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des mammifères (hors chiroptères) 367
8.3.6 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des chiroptères 370

Annexe 9 Réglementation liée à l'environnement sonore 376

9.1 Réglementation applicable aux installations nucléaires de base (INB) 376

9.2 Réglementation applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) 376

9.2.1 Niveaux sonores maximum en limite de propriété 376

9.2.2 Émergences admissibles en ZER 377
9.2.3 Tonalité marquée 377
9.3 Réglementation applicable au bruit des infrastructures ferroviaires 377
9.3.1 Infrastructures concernées par cette réglementation 377
9.3.2 Bâtiments visés 377
9.3.3 Valeurs limites réglementaires à respecter au droit des bâtiments visés 378
9.3.4 Mesures de protection à mettre en place 378
9.4 Réglementation applicable aux opérations RTE 378
9.5 Réglementation applicable au bruit des nouvelles infrastructures routières 379
9.5.1 Infrastructures concernées par cette réglementation 379
9.5.2 Bâtiments visés 379
9.5.3 Valeurs limites réglementaires à respecter au droit des bâtiments visés 380
9.5.4 Mesures de protection à mettre en place 380
9.6 Réglementation applicable au bruit des infrastructures routières existantes 381
9.6.1 Définition d'un point noir du bruit (PNB) 381
9.6.2 Objectifs acoustiques de résorption d'un PNB 381
9.6.3 Objectifs en cas de mise en place d'une solution de renforcement de l'isolation acoustique des façades 382
9.7 Réglementation chantier de construction des infrastructures de transport 382
9.8 Réglementation chantier de construction hors infrastructures de transport 382

Annexe 10 Tableau détaillé des points de vue de l'étude paysagère 384

Tableau de traçabilité des principales évolutions de fond de l'étude d'impact 389

Tables des illustrations 395

Références bibliographiques 401

Préambule

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

	ÉTUDE D'IMPACT	
RNT	Résumé non technique de l'étude d'impact	
VOLUME I	Introduction et contexte réglementaire	
VOLUME II	Justification et description du projet global Cigéo	
VOLUME III	État initial de l'environnement et facteurs susceptibles d'être affectés par le projet	
	Partie 1 : chapitres 1 à 5	1 - Méthodologie d'analyse de l'état initial/2 – Atmosphère/3 – Sol/4 - Sous-sol/ 5 - Eaux
	Partie 2 : chapitres 6 à 8	6 - Biodiversité et milieu naturel/7 – Population, emploi, activités économiques et habitat/8 - Activités agricoles et sylvicoles
	Partie 3 : chapitres 9 à 17	9 – Réseaux/10 - Déchets radioactifs et conventionnels/11 – Risques/ 12 - Infrastructures de transport/13 - Cadre de vie/14 - Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs/15 - Planification territoriale et aménagement du territoire/16 - Interactions entre les différents milieux de l'environnement/ 17 - Synthèse des facteurs susceptibles d'être affectés par le projet global Cigéo et hiérarchisation des enjeux
	Partie 4	Annexes au volume III
VOLUME IV	Évaluation des incidences et mesures d'évitement, de réduction et de compensation de ces incidences	
	Partie 1 : chapitres 1 à 5	1 - Méthodologie d'analyse des incidences/2 – Atmosphère/3 – Sol/4 - Sous-sol/ 5 – Eaux
	Partie 2 : chapitres 6 à 8	6 - Biodiversité et milieu naturel/7 – Population, emploi, activités économiques et habitat/8 - Activités agricoles et sylvicoles
	Partie 3 : chapitres 9 à 22	9 – Réseaux/10 - Déchets radioactifs et conventionnels/11 – Risques/ 12 - Infrastructures de transport/13 - Cadre de vie/14 - Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs/15 - Planification territoriale et aménagement du territoire (y compris urbanisme) - Compatibilité avec les documents de planification territoriales/16 - Interactions et effets cumulés/17 - Meilleures techniques disponibles/18 - Incidences des opérations de démantèlement et de fermeture et incidences après fermeture définitive/19 - Nature et modalités de suivi des mesures environnementales et de surveillance/20 - Estimation des dépenses liées aux mesures prises pour l'environnement/21 - Évolution de l'environnement en cas de mise en œuvre du projet et en son absence/22 - Synthèse des incidences du projet global Cigéo sur l'environnement
	Partie 4	Annexes au volume IV
VOLUME V	Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000	
VOLUME VI	Évaluation des incidences sur la santé humaine	
VOLUME VII	**Présentation des méthodes de réalisation de l'étude d'impact**	

Le présent volume est le **volume VII** ; il présente les méthodes qui ont été utilisées pour :

- établir l'état initial de l'environnement d'implantation du projet global Cigéo ;
- définir les incidences générées par le projet global Cigéo sur l'environnement et la santé et les mesures de compensation.

Les méthodes d'évaluation des incidences sur la santé humaine sont présentées dans le volume VI de la présente étude d'impact.

Dans ce volume, les méthodes sont présentées par facteur, en regroupant dans un même chapitre, les méthodes ayant été retenues pour établir l'état initial de l'environnement et les incidences du projet.

Les éléments techniques relatifs au projet sont présentés sous réserve de l'obtention des autorisations de réaliser le projet global Cigéo.

ÉTUDE D'IMPACT ET PROJET GLOBAL CIGÉO

L'étude d'impact jointe au présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) du centre de stockage Cigéo est la première actualisation de l'étude d'impact du projet global Cigéo. La version initiale était jointe au dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo, délivrée en juillet 2022 par le décret n° 2022-993 du 7 juillet 2022 (1). Cette nouvelle version apporte notamment des approfondissements sur les incidences de la création de l'installation nucléaire de base (INB).

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

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

Au stade de cette première actualisation de l'étude d'impact, les opérations des autres maîtres d'ouvrages liées au fonctionnement du centre de stockage Cigéo ne sont pas aux mêmes stades d'avancement de leurs conceptions et de leurs processus de concertation et de validation. L'analyse de leur impact est donc proportionnée à leur stade d'avancement respectif. Une des évolutions majeures de cette première actualisation est l'intégration des éléments en lien avec l'étude de maitrise des risques (cf. « Pièce 8 – Étude de maîtrise des risques » (2) de la présente demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo), qui présente l'inventaire des risques de l'installation projetée ainsi que l'analyse des dispositions prises pour prévenir ces risques et des mesures propres à limiter la probabilité des accidents et leurs effets.

Compte tenu des nombreuses autorisations qui sont nécessaires à la réalisation du projet global Cigéo (autorisation de création d'une installation nucléaire de base, autorisations environnementales, permis de construire…), la présente étude d'impact sera actualisée préalablement à chaque dépôt de demande d'autorisation à venir. Ces actualisations permettront d'assurer la qualité de l'évaluation des incidences environnementales du projet global Cigéo, à chaque étape de sa conception et de sa réalisation.

Les maîtres d'ouvrage assureront collectivement, au travers desdites actualisations, l'évaluation des incidences du projet global Cigéo, y compris la définition des mesures d'évitement, de réduction, et le cas échéant de compensation.

1

Méthode générale de réalisation des études d'impact

1.1 Démarche itérative de l'étude d'impact 10
1.2 Définition des aires d'étude 17

1.1 Démarche itérative de l'étude d'impact

De très nombreuses études et données sources ont été utilisées pour l'élaboration de la présente étude d'impact. Les experts ayant contribué directement ou indirectement à la réalisation de l'étude d'impact sont présentés au chapitre 4 du volume I de la présente étude d'impact.

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

L'objectif de cette démarche (cf. Figure 1-1) est d'appréhender les incidences (appelées aussi impacts ou effets) positives ou négatives du projet global Cigéo sur l'environnement et la santé humaine, en tenant compte de ses caractéristiques et de celles des milieux d'implantation afin d'éviter et de réduire l'impact environnemental du projet global Cigéo, voire de le compenser si nécessaire.

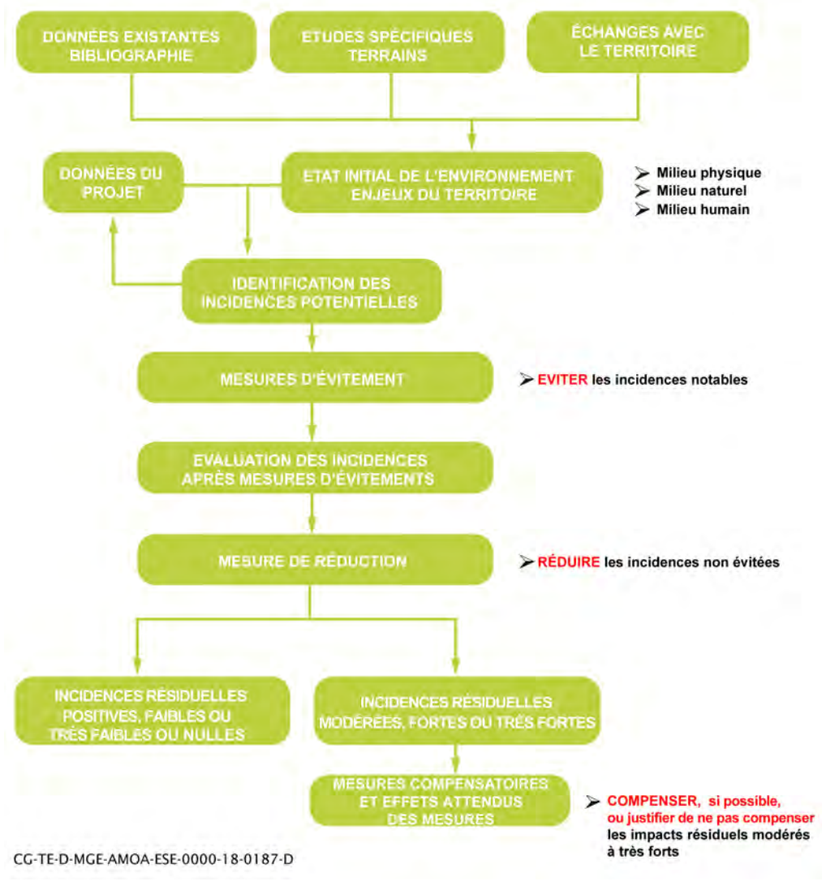


Figure 1-1 Présentation générale de la démarche d'évaluation des incidences (impacts)

1.1.1 Des niveaux d'études adaptés à l'avancement de la conception et des concertations préalables de chaque opération du projet global Cigéo

Les différentes opérations composant le projet global Cigéo n'ont pas toutes le même avancement en termes d'étude et de concertation, ce qui a des conséquences sur le niveau d'analyse dans la présente version de l'étude d'impact (cf. Tableau 1-1).

L'ensemble des installations du centre de stockage Cigéo aujourd'hui soumis à demande d'autorisation de création a fait l'objet des investigations les plus poussées. La zone d'intervention potentielle intègre l'ensemble des potentielles zones de travaux et de fonctionnement. La prise en compte des données bibliographiques décrivant le secteur a été complétée par de nombreux inventaires de terrain et des modélisations, comme le détaille l'ensemble de ce volume.

Les autres opérations qui composent le projet global Cigéo connaissent un niveau d'avancement souvent moindre.

Les travaux de sécurisation de la ligne 400 kV et la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 ne sont définis que par le linéaire des réseaux existants concernés. Les modalités d'intervention sur les pylônes de la ligne électrique, ainsi que les modalités de réfection des ouvrages d'art et des passages à niveau le long de la ligne ferroviaire 027000, n'ont pas encore été arrêtées par leurs maîtres d'ouvrage respectifs. Ainsi, les éléments d'état initial proposés sont principalement bibliographiques. Ils sont accompagnés de premiers repérages de terrain et d'estimations techniques. Ils permettent l'arbitrage entre les principaux enjeux environnementaux, afin de choisir les solutions techniquement et financièrement envisageables, offrant le moindre impact environnemental pour préciser les modalités d'interventions. Seules des incidences potentielles sont évaluées de manière à proposer les mesures couramment mises en œuvre pour ces types de travaux et les engagements nécessaires à la préservation des principaux enjeux environnementaux.

Des études de variante ont été réalisées pour les travaux de construction du poste de transformation électrique et les lignes électriques enterrées ainsi que la déviation de la route départementale D60/960. Des études techniques vont être lancées. Des analyses bibliographiques et des premiers inventaires de terrain nourrissent la description de l'état initial des secteurs concernés par les variantes en cours d'étude. L'analyse des incidences potentielles de chacune des variantes est accompagnée des mesures couramment mises en œuvre pour ces types de travaux et les engagements nécessaires à la préservation des principaux enjeux environnementaux.

Les opérations d'adduction d'eau et d'expédition et transport des colis de déchets radioactifs ne sont définies que par des objectifs fonctionnels. Des travaux de création de nouvelles adductions d'eau sont nécessaires. *A contrario*, des installations d'expédition et de transport des colis de déchets radioactifs existent déjà sur les sites des producteurs de déchets et sont notamment nécessaires pour gérer les flux liés, par exemple, aux activités d'entreposage ou à l'expédition vers les clients étrangers (cas d'Orano la Hague). Les activités d'expédition et de transport des colis de déchets radioactifs depuis les sites des producteurs de déchets seront réalisées depuis ces installations d'expédition déjà en place et par utilisation des infrastructures de transports existantes. En fonction des chroniques d'expédition des colis de déchets vers le centre de stockage Cigéo et des travaux des producteurs relatifs aux emballages de transport utilisés, des adaptations de ces installations, voire la création de nouvelles installations sur les sites existants, pourraient être nécessaires. Dans ce cas, l'étude d'impact du projet global Cigéo sera actualisée afin de prendre en compte les incidences des travaux et du fonctionnement de ces installations. Les principaux enjeux et incidences potentielles à prendre en compte sous forme de mesures d'évitement dans la conception de ces opérations sont identifiés dans la présente étude d'impact grâce aux données bibliographiques disponibles.

Tableau 1-1 Avancement des différentes opérations du projet global Cigéo

Opérations du projet global Cigéo	Définition fonctionnelle	Études de variantes (≈études préliminaires)	Étude de la variante retenue après concertation (≈avant-projet)	Avancement de la définition des ouvrages et installations
Installations du centre de stockage Cigéo (zone puits et zone descenderie, installation souterraine, liaison intersites et installation terminale embranchée ITE) sous maîtrise d'ouvrage Andra	Oui	Oui	Oui	Les caractéristiques techniques de l'INB Cigéo et leur emplacement sont précisés pour le présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC). Ils ont été définis à l'issue de plusieurs phases de décisions ayant chacune fait l'objet d'une participation du public ou du vote d'une loi (cf. Volume II de la présente étude d'impact).
Alimentation électrique réalisée sous la maîtrise d'ouvrage de RTE	Oui	Oui	(début)	Des études de variantes pour l'implantation du poste de transformation électrique et de ses liaisons souterraines aux installations du centre de stockage ont été réalisées. Ces variantes viennent d'être discutées en concertation préalable. Des études techniques sont en cours.
	Oui	(début)	/	Les travaux de sécurisation des pylônes de la ligne 400 kV existantes sont localisés, leurs modalités d'exécution sont en cours d'étude (variantes selon les sensibilités, notamment écologiques, des milieux).
Adduction d'eau sous maîtrise d'ouvrage des syndicats des eaux	Oui	(début)	/	L'opération d'adduction d'eau est définie par ses objectifs fonctionnels d'alimentation en eau potable du centre de stockage et de sécurisation de l'alimentation en eau potable des communes susceptible d'être affectée, à partir des sources d'Échenay, Gondrecourt-le-Château et Thonnance. Des études de variantes, partielles et anciennes, vont être reprises et complétées.
Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 sous la maîtrise d'ouvrage de SNCF Réseau	Oui	Oui	(début)	Les études de conception débutent ; les éventuelles variantes sont très localisées autour de la ligne existante à aménager (variantes d'aménagement d'ouvrages d'art). Ces variantes viennent d'être discutées en concertation préalable. Des études techniques sont en cours.
Déviation de la route départementale D60/960 réalisée sous la maîtrise d'ouvrage du CD 52	Oui	Oui	(début)	L'opération de déviation de la route départementale D60/960 est définie par ses objectifs fonctionnels de rétablissement de la portion de route située sous la zone descenderie avec un niveau de service équivalent à la route départementale actuelle. Trois grandes options de passage servent de guide pour l'étude de variantes contrastées. Ces variantes viennent d'être discutées en concertation préalable. Des études techniques vont être lancées prochainement pour les options nord retenues lors de la concertation.
Expédition et transport des colis de déchets radioactifs	Oui	/	/	L'expédition des colis de déchets est prévue depuis les installations existantes d'expédition, soit dans leur état actuel, soit adaptées à leur emplacement actuel. Le transport des colis de déchets est prévu par utilisation des infrastructures de transports existantes.
Opérations de caractérisation et de surveillance environnementale	En cours	Sans objet s	Sans objet	Le programme de caractérisation est en cours de définition.

1.1.2 Méthode générale de description de l'état initial

1.1.2.1 Définition de l'état initial

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

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

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

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

La détermination de l'état initial permet également de définir l'évolution projetée de l'état de l'environnement dans l'hypothèse où le projet n'est pas réalisé. Cette situation est élaborée à partir des éléments recensés dans l'état initial, en particulier en décrivant les perspectives d'évolution envisagées.

L'Andra dispose depuis de nombreuses années de données environnementales dans ce secteur d'étude *via* un Observatoire pérenne de l'environnement (OPE). Les études réalisées par l'OPE ont été utilisées lors de l'analyse de l'état initial de l'environnement et complétées par des études qui visent à assurer l'exhaustivité de l'analyse selon les diverses aires d'étude du projet global Cigéo.

L'Observatoire pérenne de l'environnement (**OPE**) a été mis en place en 2007 par l'Andra afin de décrire l'environnement initial du futur centre industriel de stockage géologique (Cigéo) puis de suivre son évolution tout au long du fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

La « zone OPE » couvre une surface de 900 km^2, située pour les deux tiers dans le département de la Meuse et pour un tiers dans celui de la Haute-Marne, regroupant ainsi quatre-vingts communes. Les contours de cette zone d'étude sont délimités par des repères naturels (cours d'eau, forêt, etc.) ou anthropiques (routes, etc.) (cf. Figure 1-2).

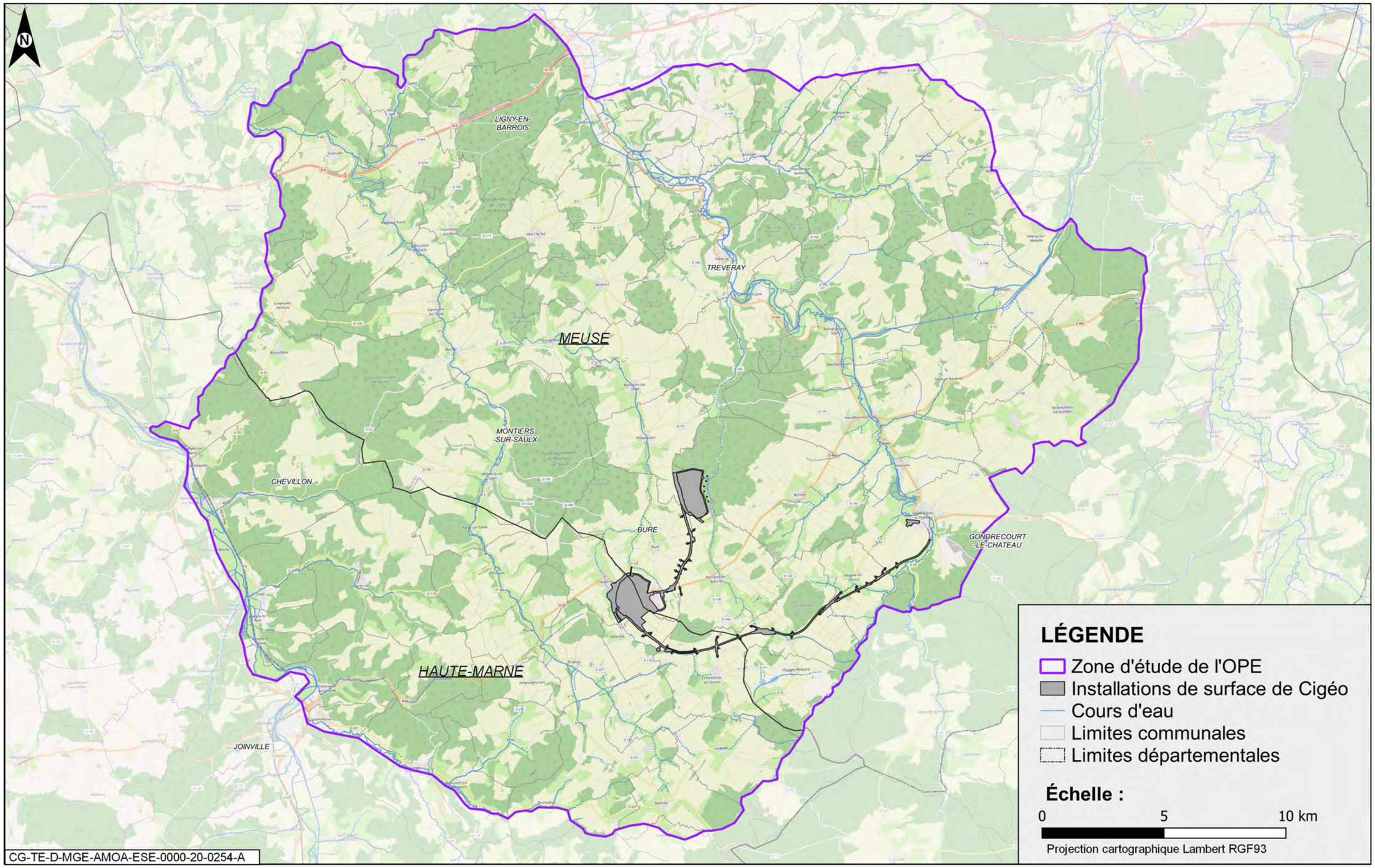


Figure 1-2 Cartographie du territoire couvert par l'observatoire pérenne de l'environnement

1.1.2.2 Hiérarchisation des enjeux

ENJEU

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

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

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

La démarche d'analyse de l'état initial est présentée pour chaque facteur dans les chapitres qui suivent du présent volume.

1.1.3 Méthode générale pour la définition des incidences et mesures

1.1.3.1 Identification et évaluation des incidences

1.1.3.1.1 Identification du type d'incidences

a) Effets directs/indirects

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

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

b) Effets temporaires/permanents

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

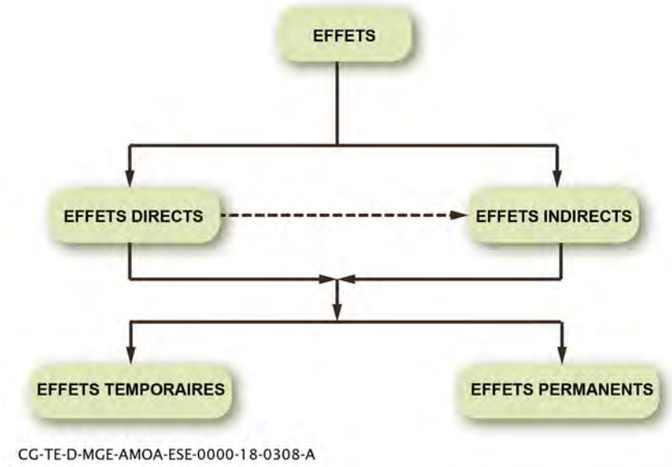


Figure 1-3 Des effets de différents types

c) Effets à court/moyen/long terme

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

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

Compte tenu de l'échelle très longue visée par la gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL, les effets du projet sur la santé humaine, liés aux substances radioactives à vie longue, sont étudiés spécifiquement à très long terme, en phase de post-surveillance, jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années.

1.1.3.1.2 Appréciation du niveau d'incidence

La démarche d'évaluation des incidences intègre la séquence « éviter, réduire, compenser » (voir la méthodologie détaillée dans le chapitre 1.1.3.2 du présent volume) et est itérative.

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

La caractérisation des niveaux **d'incidences résiduelles** « très fort », « fort », « modéré », « faible », « très faible » ou « positif » sur les différents facteurs s'appuie sur les éléments d'appréciation présentés dans le tableau 1-2. Certains effets du projet, compte tenu des spécificités du milieu, peuvent avoir une incidence positive. Il s'agit par exemple de la création d'emplois liés au projet contribuant au développement socio-économique local.

Les différents éléments d'appréciation des niveaux d'impacts sont synthétisés dans le tableau 1-2 et sont utilisés comme « fil conducteur » pour apprécier le niveau des impacts.

Tableau 1-2 Éléments d'appréciation du niveau d'incidence (grille indicative d'évaluation)

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

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

1.1.3.2 Séquence éviter/réduire/compenser

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

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

Elle conduit les porteurs de projet à rechercher et mettre en œuvre des mesures visant prioritairement à éviter les atteintes (effet négatif) à l'environnement et à la santé humaine, à réduire celles qui n'ont pu être suffisamment évitées et, si nécessaire et lorsque c'est possible, à compenser les effets notables qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits (voir figure 1-4).

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

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

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

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

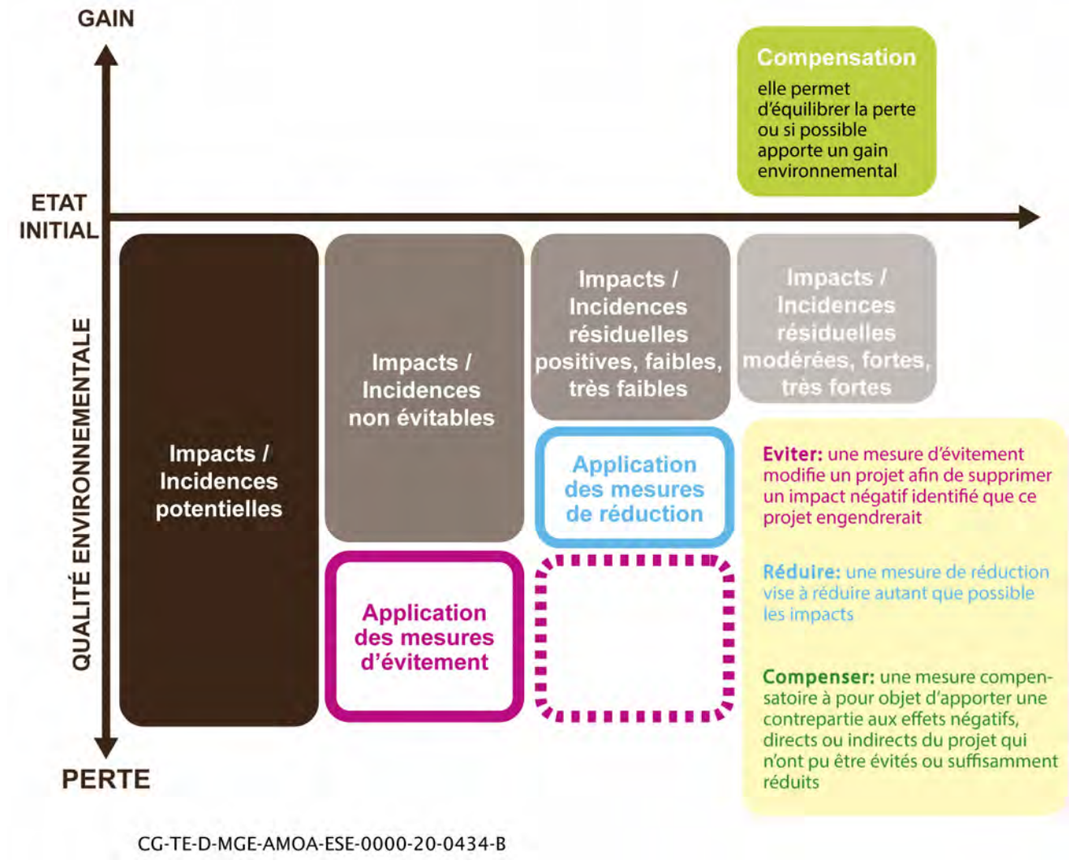


Figure 1-4 Démarche éviter réduire compenser

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

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

Afin de faciliter la lecture du volume IV, un tableau, présenté sous la forme du tableau 1-3 ci-après, synthétise, pour chaque mesure :

- **l'intitulé de la mesure** ;
- **le ou les facteur(s) environnemental(aux)** en faveur duquel ou desquels la mesure est mise en œuvre (ex : biodiversité, eaux superficielles, bruit, etc.) ;
- **le ou les maître(s) d'ouvrage (MOAs)** responsable(s) de la mise en œuvre de la mesure ;
- l'**opération** concernée par la mise en œuvre de la mesure ;
- la ou les **phase(s)** temporelle(s) sur laquelle ou 15esquelles(s) porte la mesure (aménagements préalable (APR), construction initiale (CI), fonctionnement (F)).

Tableau 1-3 Exemple de tableau de présentation d'une mesure ERC

Intitulé de la mesure			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**

1.1.3.2.2 Démarche d'analyse selon la séquence ERC

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

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

  Un tableau synthétise ces incidences potentielles, leur caractère notable (indiqué en orange) ou non notable (indiqué en bleu) ainsi que la ou les phase(s) de vie du projet concernée(s) lorsque l'incidence potentielle est notable. Un exemple est présenté au tableau 1-4.

  Dans ces tableaux, l'opération de « Caractérisation et de surveillance environnementale », également sous maîtrise d'ouvrage de l'Andra, est incluse dans l'opération « Centre de stockage Cigéo ».

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

Tableau 1-4 Exemple de tableau de synthèse des incidences potentielles du projet global Cigéo

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

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

- **mesures d'évitement**, dont la définition est donnée au chapitre 1.1.3.2.1 ;
- **incidences après mesures d'évitement** : cette étape précise les incidences du projet sur l'environnement après mise en place des mesures d'évitement, en fonction des éléments de projet disponibles ; ces éléments variant d'une opération à l'autre (cf. Chapitre 1.1.1 du présent volume), certaines incidences éventuelles seront confirmées et précisées dans les actualisations ultérieures de l'étude d'impact. À noter que pour certains chapitres du volume IV, les mesures d'évitement et de réduction sont regroupées, sans description des incidences après mesures d'évitement ;
- **mesures de réduction**, dont la définition est donnée au chapitre précédent ;
- **incidences résiduelles** : l'objectif de cette étape est d'identifier les incidences précises du projet global Cigéo qui n'ont pu être ni évitées, ni réduites ; elle précise le niveau d'incidence selon la grille d'évaluation présentée au chapitre 1.1.3.1.2 du présent volume, puis elle conclut sur les besoins (ou non) de mesures de compensation ;
- **mesures de compensation** : cette étape décrit le dimensionnement des mesures de compensation en fonction des incidences résiduelles précédemment détaillées et en fonction des objectifs règlementaires édictés pour chacun des facteurs. Les modalités précises de réalisation de ces mesures, dont la finalité est l'absence d'incidence notable du projet global Cigéo sur l'ensemble des facteurs de l'environnement et notamment l'absence de perte nette de biodiversité, seront présentées dans les dossiers spécifiques d'autorisations de travaux.

L'analyse des incidences se conclut, pour chaque thématique, par un tableau de synthèse de la démarche ERC reprenant, pour chaque incidence potentielle notable, les mesures mises en place, avec précision du type de mesure (E, R, C) et de la phase (APR, CI, F), de l'effet attendu, des modalités de suivi et des opérations et MOAs concernés (cf. Tableau 1-5).

Tableau 1-5 Exemple de tableau de synthèse de la démarche ERC

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

1.2 Définition des aires d'étude

1.2.1 Typologie des aires d'étude

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

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

- **l'aire d'étude immédiate** correspond à la zone d'étude permettant d'appréhender les effets directs d'emprise des ouvrages et installations du projet global Cigéo ainsi que par les perturbations majeures liées aux travaux et activités (cf. Figure 1-5).

  Par précaution, cette aire d'étude immédiate a été étendue jusqu'à 500 mètres de part et d'autre de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo et des opérations des autres maîtres d'ouvrage du projet global dont l'implantation ou les variantes d'implantation sont connues (voir chapitre 1.1.1 du présent volume).

  Elle inclut les potentielles zones de travaux et de fonctionnement du centre de stockage Cigéo et des opérations suivantes des autres maîtres d'ouvrage : les variantes d'alimentation électrique en dehors des travaux de sécurisation de la ligne 400 kV Houdreville-Méry (cf. Chapitre 1.1.1 du présent volume), la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et les variantes de déviation de la route départementale D60/960. Elle est commune à tous les facteurs de l'environnement sauf pour les activités agricoles et sylvicoles où elle est restreinte aux installations du centre de stockage ;
- **l'aire d'étude rapprochée,** qui varie en fonction des facteurs de l'environnement, correspond à une extension de l'aire d'étude immédiate mieux adaptée à l'évaluation de certains effets du projet ou concernant des opérations encore peu définies.

  C'est par exemple dans cette aire d'étude que sont intégrés les éléments relatifs à l'adduction d'eau pour le facteur eaux ou les facteurs relatifs au milieu humain ;
- **l'aire d'étude éloignée,** qui varie en fonction des facteurs de l'environnement, correspond à la zone d'étude permettant d'appréhender les effets potentiels ou éloignés directs et indirects secondaires du projet global Cigéo. Cette aire d'étude a été définie en tenant compte de l'ensemble des incidences potentielles que pourraient avoir les installations, ouvrages, travaux et activités d'après les connaissances disponibles. L'aire d'étude éloignée contient les aires d'étude rapprochée et immédiate.

  C'est dans cette aire d'étude que sont caractérisées les incidences potentielles de l'opération d'adduction d'eau pour de nombreux facteurs où les enjeux relatifs à cette opération ne sont pas notables. C'est aussi dans cette aire d'étude que sont analysées les incidences éloignées de l'opération d'expédition et de transport des colis radioactifs qui ne concernent que quelques facteurs spécifiques comme les infrastructures de transport et la gestion des déchets radioactifs.

L'adaptation de cette typologie à chaque facteur est décrite et justifiée dans les chapitres suivants. Les aires d'étude de chaque facteur sont définies de manière proportionnée aux enjeux de ces facteurs et aux incidences potentielles des différentes opérations du projet global Cigéo pour chaque facteur.

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

Aucune incidence potentielle n'est envisagée en dehors de la France que ce soit en fonctionnement normal ou accidentel. Ainsi, le projet global Cigéo n'est pas susceptible de présenter des incidences transfrontalières.

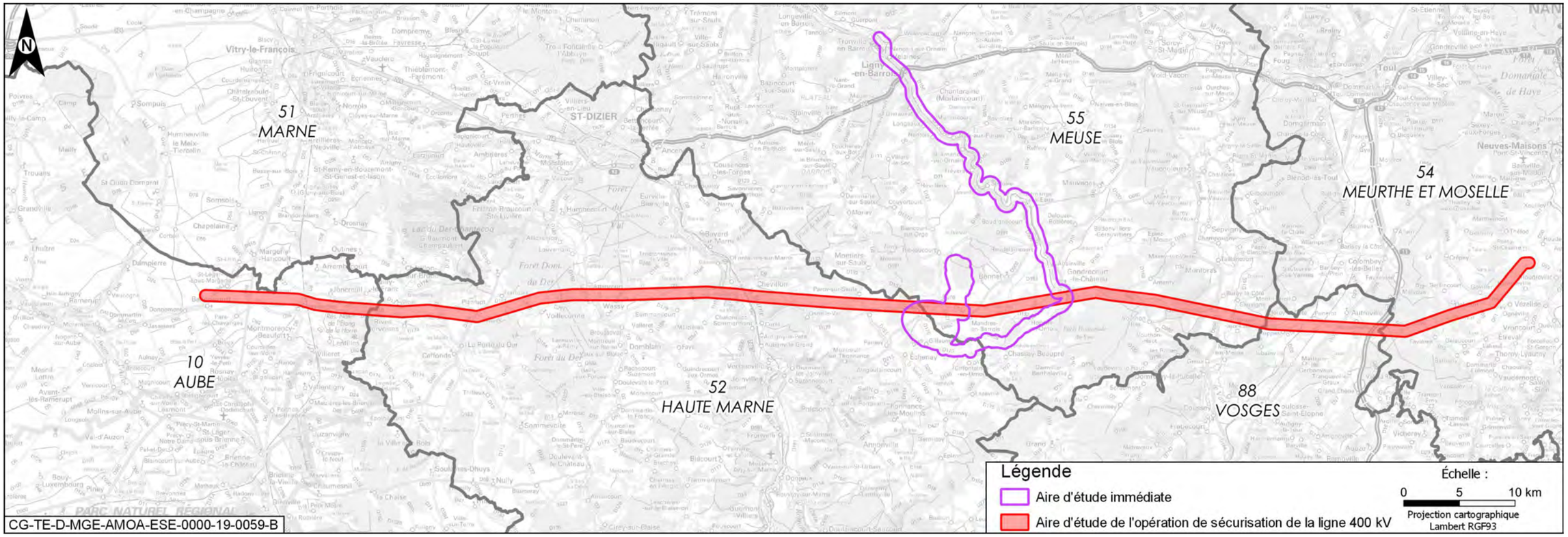


Figure 1-5 Aire d'étude immédiate et aire d'étude spécifique à l'opération de sécurisation de la ligne aérienne 400 kV

1.2.2 Description des aires d'étude associées aux facteurs de l'environnement

1.2.2.1 Définition des aires d'étude des facteurs relatifs au milieu ph sique : atmosphère, sols, sous-sols,

La liste des aires d'étude utilisées et leur description sont indiquées dans le tableau 1-6. Leur représentation est visible sur la carte ci-dessous pour les facteurs atmosphère, sols et sous-sols

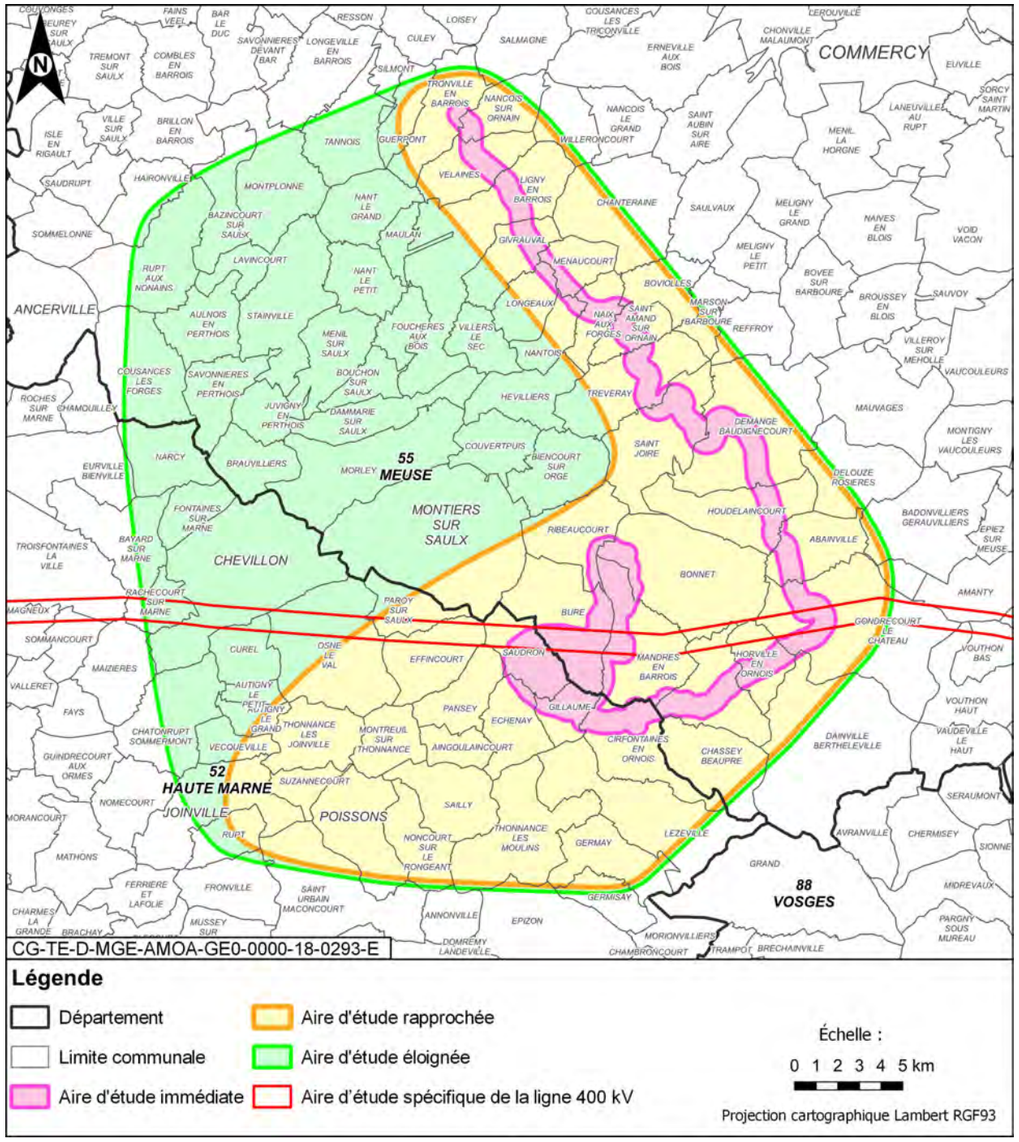


Figure 1-6 Aires d'étude du milieu physique (atmosphère, sol et sous-sol)

1.2.2.2 Définition des aires d'études de la thématique « Eaux »

Dans le dossier de déclaration d'utilité publique (DUP), l'aire d'étude éloignée était commune pour l'ensemble du milieu physique. L'Autorité environnementale a recommandé de « produire la cartographie de l'aire d'étude potentielle d'influence des installations de surface et de la descenderie sur les eaux souterraines ». À dire d'expert, aucune incidence notable n'est attendueUne analyse élargie des incertitudes puis une levée de ces incertitudes sont proposées pour conforter cette expertise.

C'est pour intégrer ces vérifications d'incertitudes que l'aire d'étude éloignée est élargie vers le nord-ouest pour la thématique eau dans le présent dossier de demande de création (DAC) (cf. Figure 1-8). Cette évolution s'appuie sur l'intégration des résultats des différents traçages qui ont participé à la connaissance des écoulements au sein de l'hydrosystème des Calcaires du Barrois (cf. Figure 1-7).

Les principaux ouvrages du projet de centre de stockage Cigéo qui pourraient influencer les eaux souterraines sont les installations de surface en zones puits et descenderie implantées dans la formation des Calcaires du Barrois et les liaisons surface-fond (descenderies et puits verticaux) qui traversent l'ensemble des formations depuis la surface jusqu'aux installations souterraines situées dans la couche argileuse et imperméable du Callovo-Oxfordien.

1.2.2.2.1 Aire potentielles d'influence des installations de surface sur les eaux souterraines

Les installations de surface du centre de stockage Cigéo sont implantées dans la formation géologique des Calcaires du Barrois. Cette formation ne forme pas un aquifère unique mais elle se divise en plusieurs sous-aquifères structurés par la présence de niveaux perméables (calcaires sublithographiques, calcaires de Dommartin et calcaires cariés et tachetés) et semi-perméables (Pierre Châline, Oolithe de Bure), avec à sa base les marnes kimméridgiennes constituant une barrière imperméable. Ainsi, seuls les Calcaires du Barrois sont concernés par de potentielles influences hydrauliques des installations de surface.

Les écoulements dans les Calcaires du Barrois sont globalement orientés vers le nord-nord-est, en lien avec le pendage des couches géologiques, la fracturation et les phénomènes karstiques. Il existe de plus des échanges entre les eaux souterraines et les eaux du système hydrographique (pertes et résurgences).

L'aire d'influence hydraulique potentielle des installations de surface sur les eaux souterraines du calcaire du Barrois se situe en aval hydraulique des installations de surface du centre de stockage Cigéo. En tête de bassin versant, les écoulements s'orientent pour partie en suivant la morphologie du substratum de la formation aquifère, constitué des marnes du Kimméridgien. À l'échelle de l'aire d'étude éloignée, des traçages artificiels recensés indiquent, de manière conservative, les directions d'écoulement et l'extension vers le nord de l'aire potentielle d'influence. Ces traçages peuvent être regroupés en deux types en fonction de la localisation de leur point d'inj ction :

- l'injection a été réalisée à proximité immédiate de la zone des futures installations de surface du centre de stockage Cigéo ; ces traçages témoignent d'une connexion directe entre la zone des futures installations de surface et les points de sortie du traceur situés dans l'Orge, la Saulx et au niveau de la source de Rupt-aux-N nains ;
- l'injection a été réalisée à plusieurs kilomètres en aval de la zone des futures installations de surface du centre de stockage Cigéo mais à l'intérieur de l'aire d'étude él ignée ; ces traçages informent sur les directions globales d'écoulement et les potentielles connexions indirectes (par l'intermédiaire du réseau hydrographique). Ces traçages indiquent des directions générales vers le nord-nord-ouest avec des exutoires identifiés au nord de Bar-Le-Duc pour les plus éloignés.

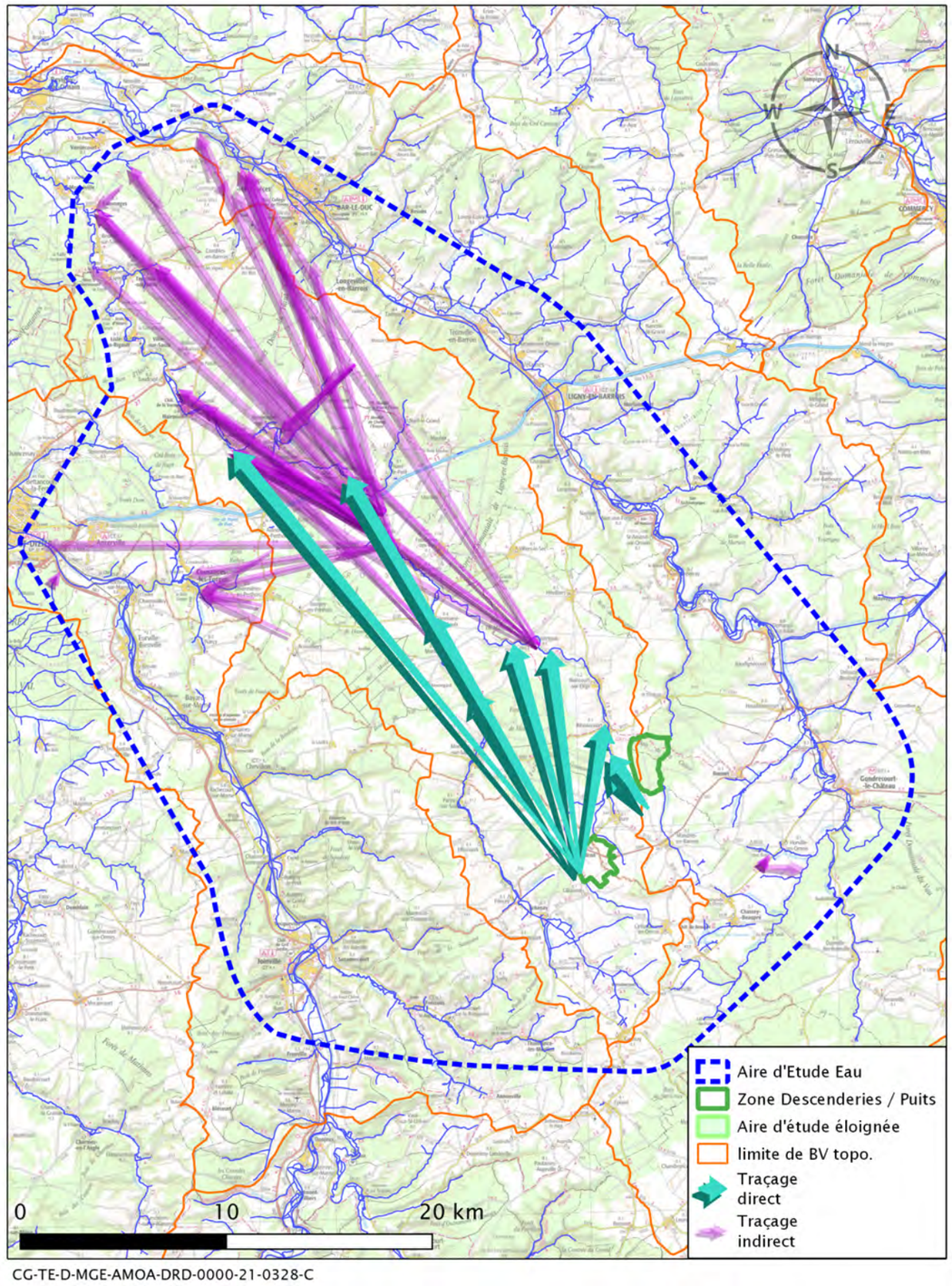


Figure 1-7 *Traçages hydrogéologiques et directions globales des écoulements dans les Calcaires du Barrois depuis la zone descenderie*

L'ensemble des connaissances disponibles (acquises par l'Andra ou disponibles dans les bases de données publiques) permettent ainsi de tracer, de manière très sécuritaire, une enveloppe de l'aire d'influence hydraulique potentielle des installations de surface du centre de stockage Cigéo en prenant comme référence les directions d'écoulements ainsi que les exutoires naturels identifiés par les traçages.

On retiendra notamment qu'au niveau du captage d'alimentation en eau potable (AEP) de Rupt-aux-Nonains, on a pu établir, par traçage en période de basses eaux, un facteur de dilution très important de l'ordre de 10^8.

Dans l'hypothèse d'une connexion entre les installations de surface du centre de stockage Cigéo et les captages plus au nord que celui de Rupt-aux-Nonains, le facteur de dilution serait plus élevé. Cette hypothèse est cohérente avec la délimitation du réseau d'alerte et de secours défini dans l'arrêté n° 2020-2664 du 18 décembre 2020 portant déclaration d'utilité publique les travaux de dérivation des eaux souterraines des sources Mourot et de la Côte Géminel (3). En effet, ce dernier couvre le secteur du cours d'eau de la Saulx de Ménil-sur-Saulx à Trémont-sur-Saulx jusqu'aux sources, avec une limite sud-est s'arrêtant à une quinzaine de kilomètre en aval des installations du centre de stockage Cigéo.

1.2.2.2.2 Influence des liaisons surface-fond sur les eaux souterraines

Les liaisons surface-fond, telles qu'elles sont conçues à ce stade, sont étanches au niveau de la formation des Calcaires du Barrois et drainantes au niveau de l'Oxfordien. Leur influence hydraulique potentielle ne s'exprimera qu'au niveau des Calcaires de l'Oxfordien, en générant un rabattement hydraulique, comme observé autour des deux puits du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. Toutefois, du fait notamment des caractéristiques peu transmissives de l'Oxfordien au niveau de la zone de transposition, cette perturbation hydraulique ne sera significative qu'à proximité immédiate des descenderies et des puits, quelques dizaines à centaines de mètres de rabattement au plus, comme cela est observé autour des puits du Laboratoire souterrain. Elle ne modifierait pas le fonctionnement des captages d'alimentation en eau potable situés en dehors de la zone de transposition, à plusieurs kilomètres au sud-est des descenderies et des puits, notamment au niveau du fossé de Gondrecourt.

Les interrelations entre les masses d'eau souterraines et les masses d'eau superficielles justifient la prise en compte d'une aire d'étude commune pour l'étude des deux milieux.

Les masses d'eau sont étudiées sur une aire d'étude éloignée s'étendant sur les départements de la Meuse et de la Haute-Marne (en dehors de la ligne 400 kV). Au-delà de cette aire d'étude éloignée, les eaux superficielles et les eaux souterraines ne sont pas susceptibles d'être affectées par le projet global Cigéo.

L'opération d'alimentation électrique au niveau de la ligne 400 kV concerne les masses d'eau des départements de l'Aube, de la Haute-Marne, de la Meuse et de la Meurthe-et-Moselle. L'analyse des masses d'eau concernées par le projet et de sécurisation de ligne 400 kV est présenté dans une unique aire de 500 mètres de part et d'autre de la ligne et de manière plus générale que pour le projet global Cigéo.

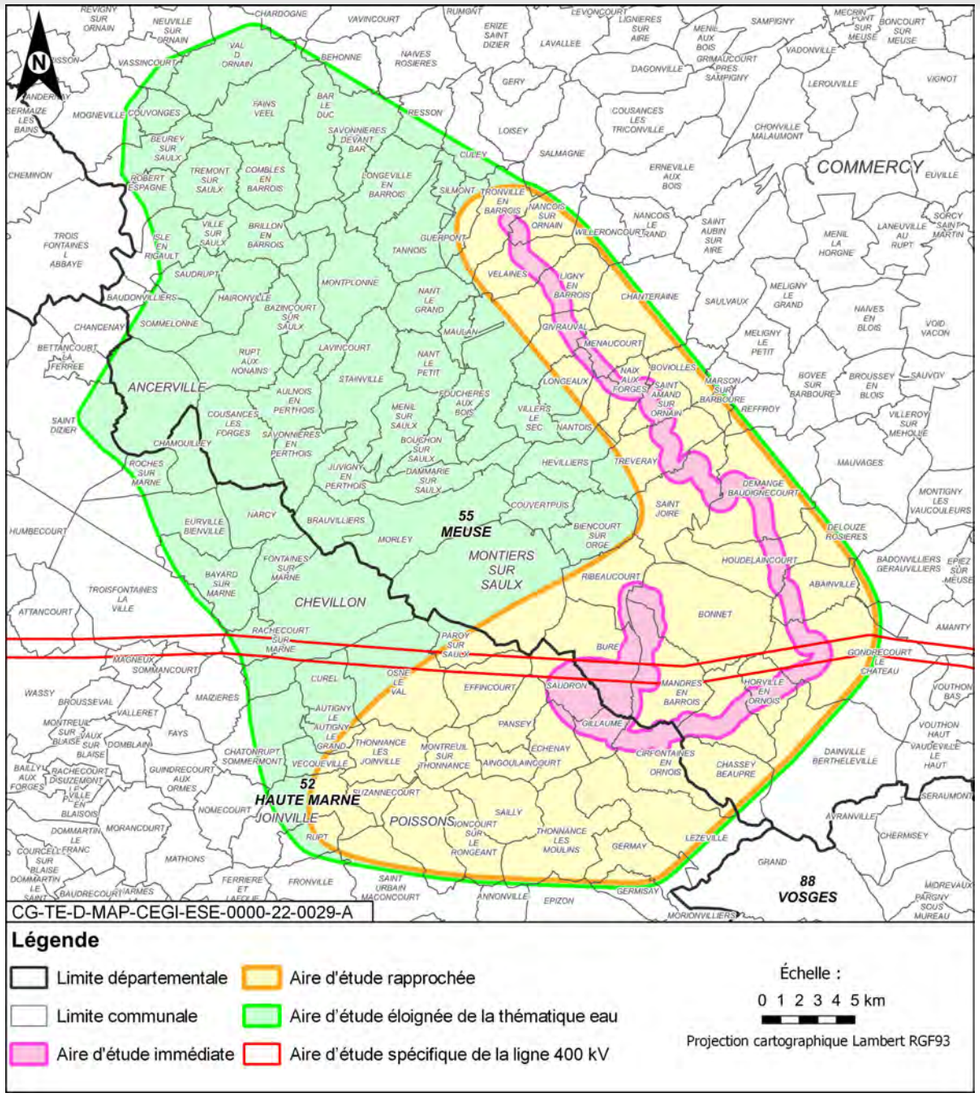


Figure 1-8 Aires d'étude de la thématique eaux

Tableau 1-6 Définition des aires d'étude du milieu physique (Atmosphère, Sol, Sous-sol et Eaux)

Aire d'étude	Description	Justification
Immédiate	Aire d'étude centrée sur la zone d'implantation potentielle envisagée pour les opérations du projet global Cigéo dont l'implantation ou ses variantes sont arrêtées, augmentée d'une zone de 500 mètres 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 d'étude permettant d'appréhender les effets directs induits par les ouvrages et installations ainsi que par les perturbations liées aux travaux et activités dans la zone d'intervention potentielle et à sa proximité immédiate.
Rapprochée	Aire d'étude incluant les communes d'implantation des infrastructures de surface du projet global Cigéo, et des trois captages participant à l'adduction en eau du centre de stockage Cigéo avec leurs périmètres de protection associés.	Cette aire d'étude permet de prendre en compte toutes les populations potentiellement soumises à des modifications de la qualité de l'air, de caractériser le contexte d'implantation, de décrire le contexte d'implantation des ouvrages souterrains. Elle permet ainsi de prendre en compte les communes concernées par la ZIOS (zone d'implantation des ouvrages souterrains) et la ZIRA (zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie). Ces zones servent à la description de la tectonique et de la stratigraphie. Pour le facteur eaux, elle intègre les périmètres de protection des trois points de captage nécessaires à l'opération adduction d'eau et les plans d'eau présents autour du projet global.
Éloignée (atmosphère, sols, sous-sols)	Aire d'étude qui s'étend sur une superficie d'environ 1 000 km². Cette aire est dél mitée : • au nord-ouest par le captage en eau potable de Rupt-aux Nonains et les périmètres de protection as ociés ; • au sud par la tête du bassin versant de la Saulx ; • au nord et à l'est par l'Ornain (longée par la ligne ferroviaire 027000) en considérant les bassins versants interceptés jusqu'à une distance moyenne en amont du point de franchissement du cours d'eau par la ligne ferroviaire d 1 km ; • à l'ouest et à l'est par la partie amont des bassins versants concernés par les captages d'eau potables envisagés pour l'adduction en eau du centre de stockage Cigéo (interceptés jusqu'à une distance moyenne en amont de 1 km).	Cette aire permet l'étude des conditions météorologiques locales grâce aux données acquises à la station d'Houdelaincourt et mises en perspectives par les données de la station plus ancienne de Saint-Dizier. Le profil énergétique, la qualité de l'air et les rejets de gaz à effets de serre font références aux données bibliographiques disponibles les plus représent tives : la région Grand Est et le pays Barrois. Cette aire d'étude permet aussi la caractérisation des sols (géomorphologie, pédologie, occupation du sol) et du sous-sol indispensable à la sûreté de l'installation. Cette aire permet de décrire la zone de transposition dans laquelle la géologie garantit la sûreté de l'installation de stockage souterrain, et de replacer la tectonique et la stratigraphie dans un contexte plus général.
Éloignée (eau)	Aire d'étude qui s'étend sur une superficie d'environ 1 300 km². Cette aire est dél mitée : • au nord et au nord-ouest par l'extension des traçages déjà réalisés dans le s cteur ; • au sud par la tête du bassin versant de la Saulx ;	Cette aire permet la connaissance des systèmes hydrauliques et hydrogéologiques en interrelation. Cette aire inclut l'opération d'adduction d'eau potable pour laquelle il est nécessaire de vérifier, dans le cadre des recherches futures de variantes les terrains à éviter. Cette aire tient compte (voir figure 1-8) :

Aire d'étude	Description	Justification
	• au nord-est par l'Ornain (longée par la ligne ferroviaire 027000) en considérant les bassins versants interceptés jusqu'à une distance moyenne en amont du point de franchissement du cours d'eau par la ligne ferroviaire d 1 km ; • à l'ouest par la limite du bassin versant de la Marne.	de la zone de transposition où la géologie garantit la sureté de l'installation de stockage sout rrain ; • des relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines dans les secteurs karstiques en incluant les secteurs de pertes dans les cours d'eau locaux et les zones de résurgences associées, y compris d'un cours d'eau vers un autre (de l'Ornain vers la Saulx, de la Saulx vers la arne) ; • des usages déclarées de l'eau et des sens d'écoulement des masses d'eau de surface ou souterraine associées. L'ensemble des connaissances disponibles à ce jour permettent de tracer, de manière très sécuritaire, une enveloppe de l'aire d'influence hydraulique potentielle des installations de surface, en prenant comme référence les directions d'écoulements ainsi que les exutoires naturels identifiés par des traçages artificiels.
Spécifique	Aire d'étude spécifique de la ligne 400 kV qui s'étend sur 500 mètres de part et d'autre de la portion de ligne électrique de 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	

1.2.2.3 Définition des aires d'étude du facteur biodiversité et milieu naturel

Deux aires d'étude sont utilisées pour réal'ser l'état initial du milieu naturel. Celles-ci sont présentées dans le tableau ci-dessous et illustrées sur la figure 1-9.

Tableau 1-7 Définition des aires de la biodiversité et du milieu naturel

Aires d'étude	Description	Justification
Immédiate	Aire d'étude centrée sur la zone d'implantation potentielle envisagée pour les opérations du projet global Cigéo dont l'implantation ou ses variantes sont arrêtées, augmentée d'une zone de 500 mètres 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 d'étude permettant d'appréhender 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 sa proximité immédiate. Elle est utilisée pour acquérir une connaissance détaillée du milieu grâce à des inventaires de terrain (habitats naturels, faune et flore). Cette aire d'étude d'inventaires a été définie afin de recenser de manière exhaustive les habitats naturels et les habitats d'espèces à distance des effets d'emprise directs. Le tampon de 500 mètres favorise la prise en compte de milieux naturels spécifiques non impactés directement par le projet mais pouvant abriter une biodiversité inféodée à ces milieux. Ainsi, cette aire d'étude pe'met d'appréhender les atteintes aux fonctionnalités écologiques du territoire, en considérant les éléments nécessaires au bon accomplissement du cycle biologique des espèces.
Éloignée	Aire d'étude qui correspond à un cercle de 30 km de rayon centré sur la zone puits du 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 par les capacités maximales de déplacements quotidiens des individus entre leur gîte et leur zone de chasse Elle est axée sur la zone puits du centre de stockage Cigéo qui est la zone qui présente les incidences les plus fortes sur ces espèces. Elle est utilisée pour recenser les enjeux et incidences les plus étendues 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.
Spécifique	Aire d'étude spécifique de la ligne 400 kV qui s'étend sur 500 mètres de part et d'autre de la portion de ligne électrique de 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	

» VARIATIONS DE LA PRESSION D'INVENTAIRE

Au sein de l'aire d'étude immédiate, il convient de préciser que la pression des inventaires naturalistes est plus forte sur les zones d'implantation connues que sur les « fuseaux d'études des variantes » pour les opérations de la déviation de la route départementale D60/960 et l'opération d'alimentation électrique. Ce n'est qu'à l'issue des phases de concertation préalable que les inventaires détaillés seront réalisés. La présente étude d'impact fera en effet l'objet, conformément à ce qui est explicité dans le chapitre 3.2.1 du volume I de la présente étude d'impact, d'actualisations au fur et à mesure de l'évolution des connaissances de l'ensemble des opérations du projet global, de l'intégration des conclusions des participations du public en cours ou à venir et de l'approfondissement de la conception du projet global.

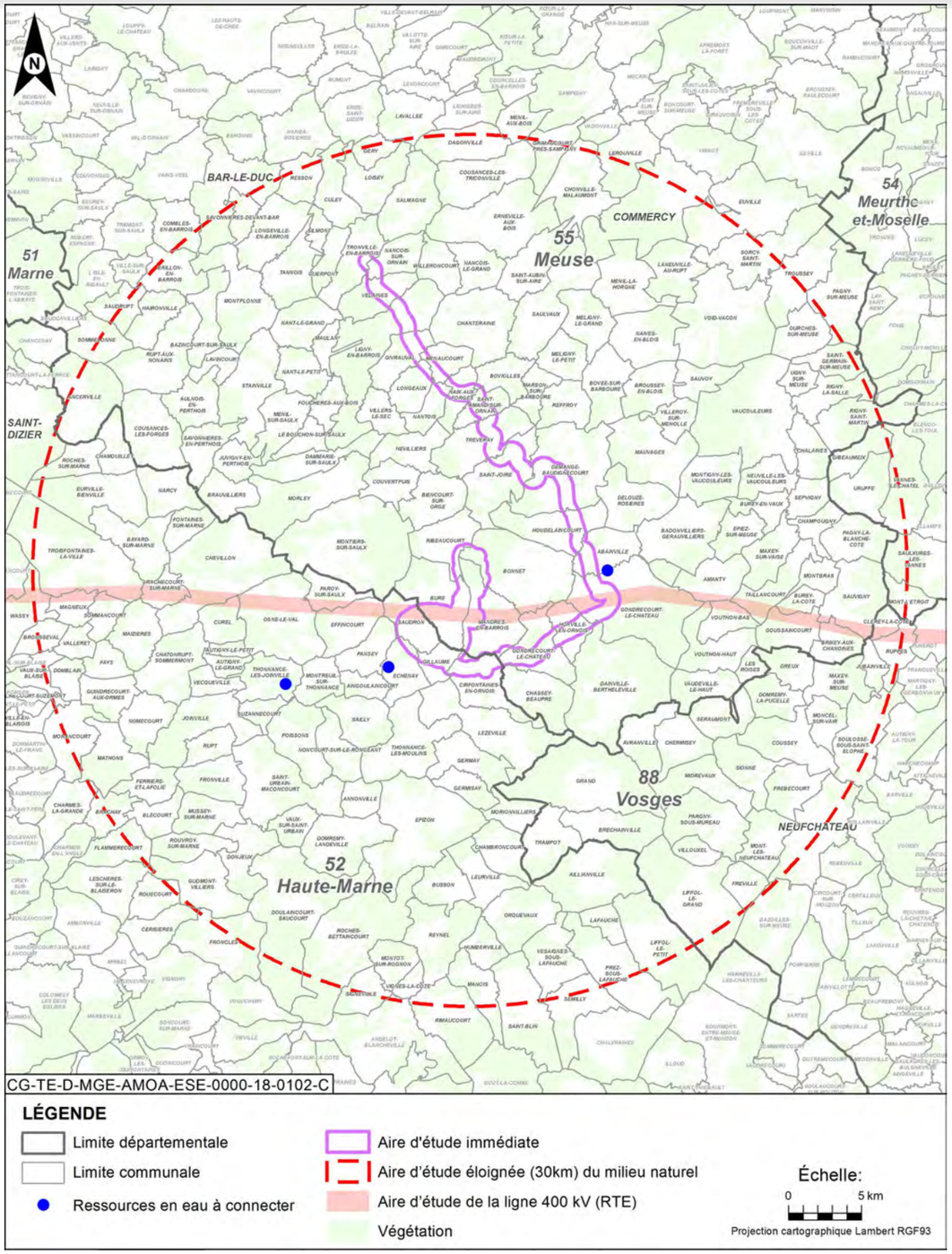


Figure 1-9 Aires d'étude du milieu naturel

1.2.2.4 Définition des aires d'étude des facteurs relatifs au milieu humain

Ce chapitre présente les aires d'étude des facteurs suivants qui participent à la description du milieu umain : population et socio-économie, réseaux, déchets radioactifs, déchets conventionnels, risques technologiques et sites et sols potentiellement pollués, infrastructures de transport, cadre de vie et planification territoriale. L'aire d'étude immédiate est commune pour ces facteurs. Quatre aires d'étude rapprochées et deux aires d'étude éloignées sont considérées en fonction du facteur concerné (cf. Tableau 1-8).

Tableau 1-8 Définition des aires d'étude du milieu humain

Aire d'étude	Description	Justification
Immédiate	Aire d'étude centrée sur la zone d'implantation potentielle envisagée pour les opérations du projet global Cigéo dont l'implantation ou ses variantes sont arrêtées, augmentée d'une zone de 500 mètres 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 d'étude permettant d'appréhender 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 imm diate ; • elle permet d'analyser les effets sur les activités économiques et l'habitat au niveau local (effets sur les constructions existantes et augmentation de fréquentation/de développement de l'habitat induits par le projet au plus proche de cel i-ci) ; • cette aire d'étude comprend les travaux de rétablissement des réseaux interceptés (réseau électrique, téléphonique, eau et assainissement et réseaux divers ...) ou créés ; • elle intègre le centre de stockage Cigéo et la ligne ferroviaire 027000 comprenant les installations de transport et de chargement/déchargement des colis de déchets radioactifs, en vue de leur st ckage ; • cette aire d'étude permet de vérifier l'absence de site de gestion des déchets ou de sites pollués ou potentiellement pollués dans la zone d'intervention potentielle, et de risques technologiques à prendre en compte dans la conception du projet. Elle est représentative de la zone susceptible d'être affectée pendant les travaux de construction (e emple : production de déchets et mise en dépôts de matériaux inertes liés aux travaux autour des opérations du projet). Par ailleurs, c'est dans cette aire que les principaux risques du projet global Cigéo sont re ensés ; • cette aire permet une analyse ciblée des effets directs sur les infrastructures perturbées par les différentes opérations du projet et donc à ré ablir ; • c'est la zone la plus susceptible d'être affectée par des nuisances acoustiques vibratoires, lumineuses qui peuvent être ressenties à cette distance et des champs électromagnétiques qui ne sont plus mesurés au-delà d'une centaine de mètre. Au-delà, la distance les atténue for ement ; • cette aire d'étude est utilisée pour analyser la compatibilité avec l'occupation locale des sols et l'incidence sur le développement de l'urbanisation au plus proche des opérations du projet global.
Rapprochée	**Facteurs infrastructures de transport et cadre e vie** : aire d'étude du projet global	• cette aire d'étude intègre les déplacements domicile-travail et les approvisionnements locaux not mment ;

Aire d'étude	Description	Justification
	Cigéo à l'échelle de l'aire de modélisation du trafic routier incluant la ligne ferroviaire 027000. Cette aire s'étend de Commercy au nord, Bologne au sud, Thuilley-aux-Groseilles à l'est et Joinville à l'ouest.	• elle intègre les effets acoustiques et vibratoires liés à l'augmentation des trafics routiers, ainsi que pour les incidences vibratoires les plus éloignées pendant la période de travaux de creusement des installations souterraines (tirs à l'explosif, vibrations des tunneliers pour le creusement des galeries du site, etc.). Elle intègre également l'aire d'influence des nuisances lumineuses qui peuvent être perceptibles jusqu'à 2 km.
	Facteur population, emploi et activités écono iques : aire d'étude du projet global Cigéo de 50 km autour du centre de stockage.	• cette aire d'étude permet d'appréhender les enjeux suivants : évolution démographique locale, création d'emplois directs et indirects (prestataires, services, etc.), création d'entreprises, etc. Elle est définie en considérant des statistiques nationales qui indiquent que 90 % des salariés effectuent un trajet de 50 km entre leur domicile et leur lieu de travail (centre de stockage Cigéo générateur d'emploi). Un zoom à 20 km est réalisé, correspond à 60 % des trajets entre le domicile et le lieu de travail au niveau national ; • cette aire intègre les commerces et entreprises à proximité des autres opérations du projet global Cigéo dont la fréquentation pourrait augmenter durant les phases travaux. À noter que certaines données présentées dans l'aire d'étude rapprochée s'appuient sur les SCoT du Pays Barrois et Haut-Marnais, et permettent d'apporter des précisions complémentaires. Certaines analyses peuvent donc porter sur des secteurs qui diffèrent des cercles de 50 km et 20 km autour du projet.
	Facteur planification territoriale et aménagement du territoire : aire d'étude du projet global Cigéo incluant les SCOT du pays Barrois, de nord Haute-Marne et de Commercy-Void-Vaucouleurs (4, 5).	Cette aire d'étude permet d'analyser la compatibilité et la cohérence du projet global Cigéo avec les grandes orientations retenues pour les différents territoires et permet d'évaluer les éventuelles incidences sur l'urbanisation future de ces territoires (habitats, zones d'activités…).
	Facteurs réseaux, déchets conventionnels, risques technologiques et sites et sols potentiellement pollués : aire d'étude du projet global Cigéo incluant les communes d'implantation des infrastructures de surface du projet global Cigéo et des trois captages participant à l'adduction en eau du centre de stockage Cigéo avec leurs périmètres de protection associés.	Cette aire d'étude est commune à celle du milieu physique et du paysage/patrimoine pour ne pas multiplier les aires d'étude. Elle comprend la zone d'analyse des variantes pour l'analyse des tracés des réseaux d'adduction en eau potable. Elle est utilisée pour analyser les principaux risques technologiques, réseaux et sites pollués et potentiellement pollués qui serviront dans le cadre de l'analyse de ces variantes de tracé.
Éloignée	Aire d'étude à l'échelle de la région Grand Est tout entière.	• étant donné l'ampleur du projet global Cigéo, des effets potentiels sur la population, l'emploi et les activités économiques sont envisageables à l'échelle de la Région Grand Est tout entière, notamment sur l'attractivité du territoire, la création et la structuration d'activités spécifiques (spécialisation des entreprises, création de pôles d'activité) ; • la gestion des réseaux peut relever de documents de planification régionaux et des effets potentiels sont envisageables à l'échelle de la Région Grand Est, Cette aire intègre l'ensemble de la portion de ligne 400 kV concernée par les travaux de sécurisation ; • concernant les déchets radioactifs, cette aire d'étude intègre le centre de stockage de l'Aube (CSA) et le centre de regroupement d'entreposage et de stockage (Cires) qui accueilleront les déchets de fonctionnement et de maintenance du centre de stockage Cigéo ; • le schéma régional de gestion des déchets qui programme les modalités de traitement des déchets conventionnels en fonction des objectifs de développement, repris dans le Schéma régional d'aménagement durable et d'égalite des territoires (SRADDET). Les déchets non gérés à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée sont traités majoritairement à l'échelle régionale ; • concernant la planification territoriale, cette aire est régie par le Schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) du Grand Est (6). La prise en compte de ce niveau administratif et géographique permet de considérer d'éventuelles incidences sur la structuration et le développement du territoire de la Région. C'est également l'aire d'étude éloignée utilisée pour analyser les incidences socio-économiques.
	• Aire d'étude étendue aux parties nord et est de la France où sont effectuées les opérations d'expéditions et de transports des déchets radioactifs.	Cette aire d'étude intègre les sites actuels d'entreposage des déchets radioactifs HA et MA-VL chez les producteurs et les opérations d'expédition et de transport des déchets depuis ces sites. Elle permet d'étudier les incidences liées au trafic généré par le transport des colis de déchets radioactifs depuis les différents sites d'expédition sur les infrastructures de transport concernées par l'acheminement (réseau ferré et routier). Elle intègre les zones susceptibles d'être affectées par une éventuelle très faible incidence acoustique ou vibratoire liée au trafic généré par le transport des colis de déchets radioactifs depuis les différents sites d'expédition sur les infrastructures de transport concernées par l'acheminement (réseau ferré et routier).
• Spécifique	Aire d'étude spécifique de la ligne 400 kV qui s'étend sur 500 mètres de part et d'autre de la portion de ligne électrique de 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	

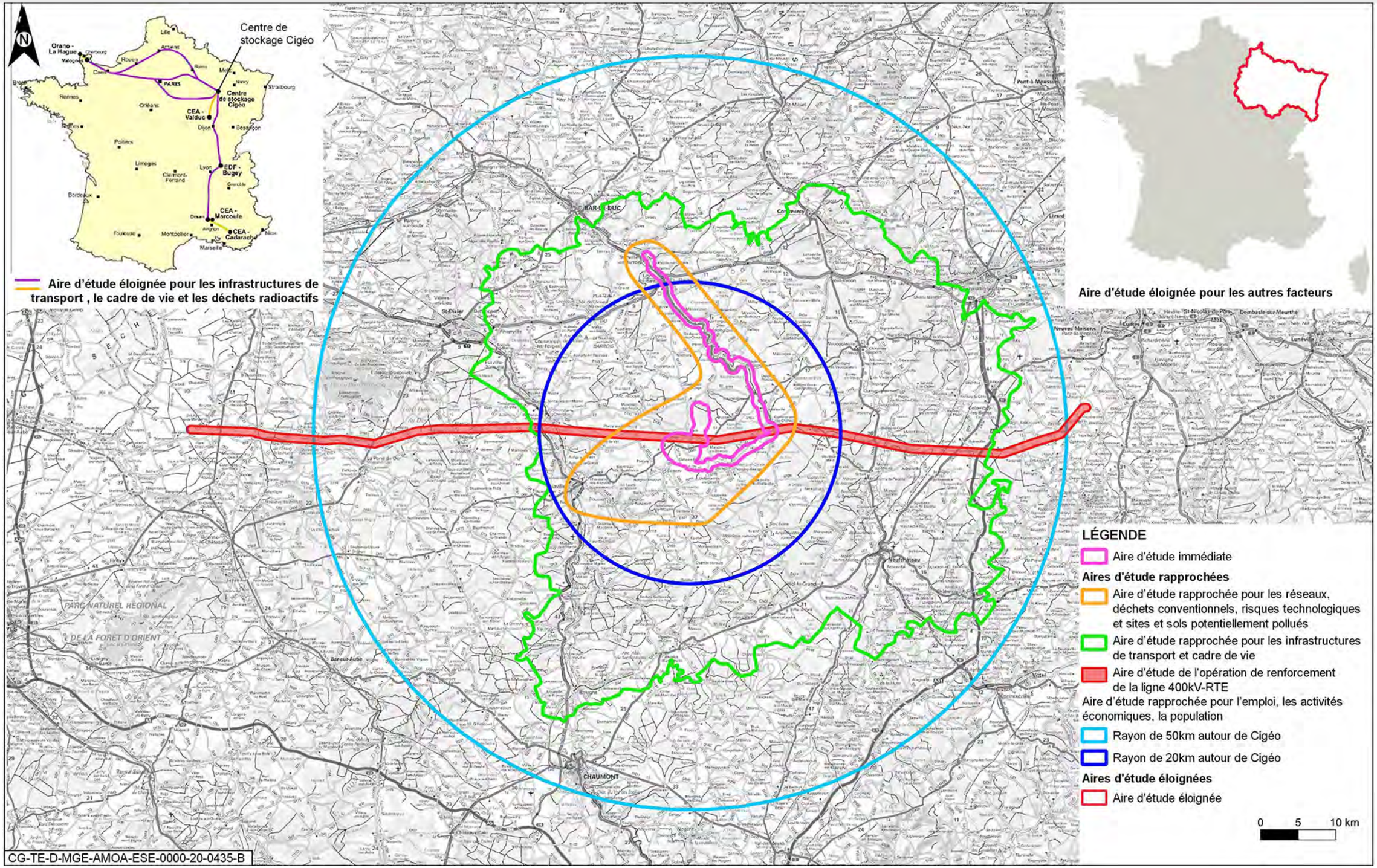


Figure 1-10 Aires d'étude du milieu humain

1.2.2.5 Définition des aires d'étude du facteur activités agricoles et sylvicoles

La liste des aires d'étude utilisées et leur description sont indiquées dans le tableau 1-9 et sur la figure 1-11.

Tableau 1-9 Définition des aires d'étude des activités agricoles et sylvicoles

Aire d'étude	Description	Justification
Immédiate	Aire d'étude correspondant à la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo sur laquelle les travaux ou installations sont susceptibles de s'étendre en surface.	Cette aire d'étude correspond à la zone susceptible d'avoir d'importants effets directs compte tenu de l'ampleur des surfaces soustraites pour l'exploitation agricole ou forestière.
Rapprochée	Aire d'étude agricole constituée des sept communes sur lesquelles les terres cultivées sont prélevées : Cirfontaines en Ornois, Gillaumé, Saudron, Bonnet, Bure, Gondrecourt-le-Château, Horville en Ornois, Mandres-en-Barrois. Aire d'étude sylvicole constituée des deux communes sur lesquelles les surfaces boisées sont prélevées : Bonnet et Mandres-en-Barrois.	Cette aire d'étude permet d'appréhender les effets liés à la consommation de surfaces agricoles et sylvicoles sur les communes d'implantation du centre de stockage Cigéo. Elle couvre les variantes envisagées pour l'implantation du poste de transformation 400 kV et les liaisons souterraines associées ainsi que les variantes envisagées pour la déviation de la route départementale D60/960.
Éloignée	Aire d'étude à l'échelle des départements de la Haute-Marne et de la Meuse.	• cette aire d'étude permet l'étude des effets sur l'économie agricole et sylvicole. La profession agricole est structurée au niveau départemental, c'est pourquoi cet échelon a été retenu pour l'aire d'étude éloignée. Elle intègre l'ensemble de la ligne 027000 ; • un zoom est fait sur le territoire regroupant les quatre anciens cantons de Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois situés en Meuse et de Poissons en Haute-Marne où sont principalement effectués les échanges liés à l'économie agricole locale (en particulier les silos agricoles, les acteurs d'agrofourniture et machinisme).
Spécifique	Aire d'étude spécifique de la ligne 400 kV qui s'étend sur 500 mètres de part et d'autre de la portion de ligne électrique 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	

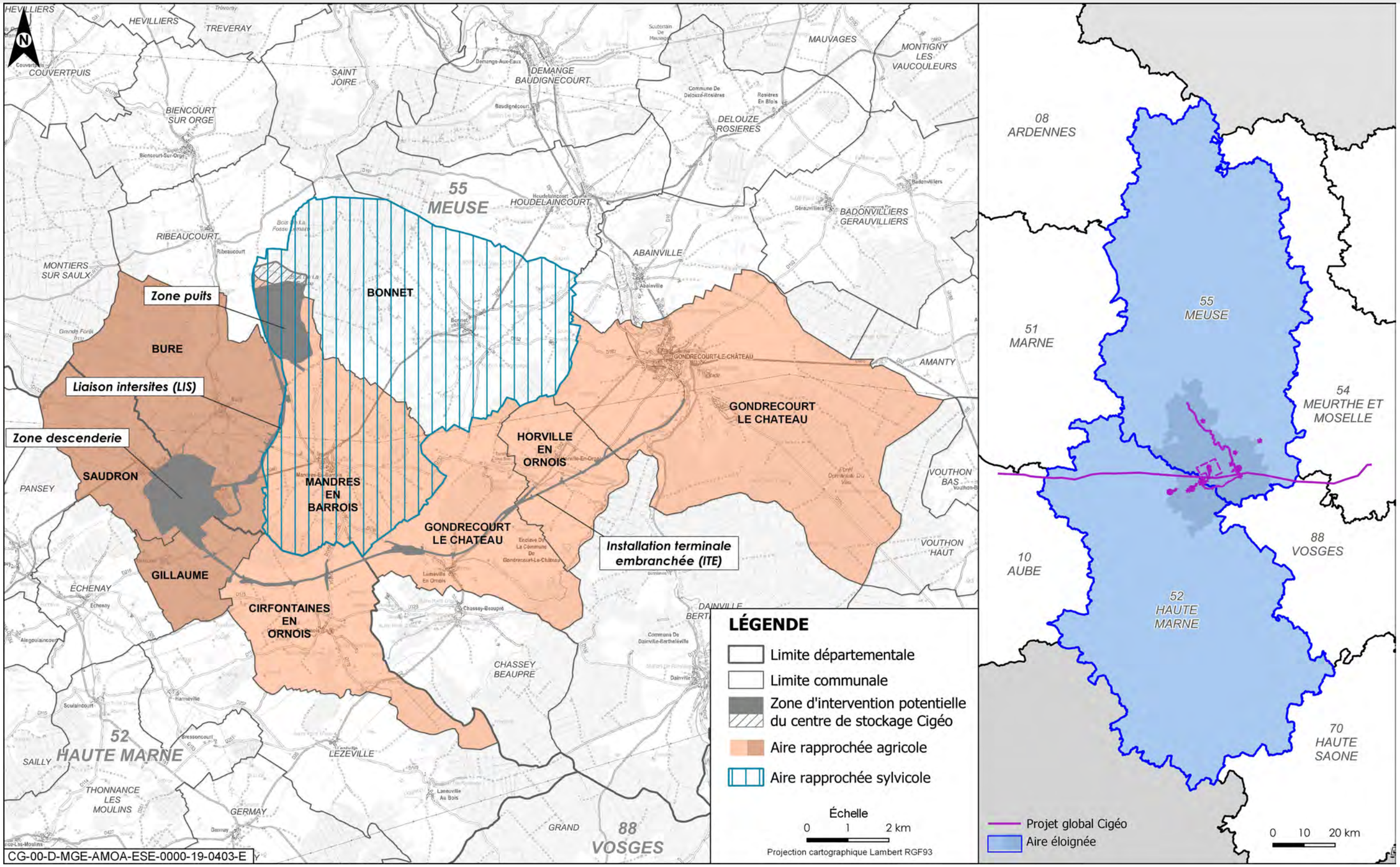


Figure 1-11 Aires d'étude des activités agricoles et sylvicoles

1.2.2.6 Définition des aires d'étude pour le paysage, le patrimoine culturel, le tourisme et les activités de loisirs

La liste des aires d'étude utilisées et leur description sont indiquées dans le tableau 1-6.

Tableau 1-10 Définition des aires d'étude pour le paysage, le patrimoine culturel, le tourisme et les activités de loisirs

Aire d'étude	Description	Justification
Immédiate	Aire d'étude centrée sur la zone d'implantation potentielle envisagée pour les opérations du projet global Cigéo dont l'implantation ou ses variantes sont arrêtées, augmentée d'une zone de 500 mètres 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. Cette aire d'étude est adaptée au recensement : 1. Des périmètres de protection des monuments historiques (généralement de 500 mètres autour du monument) traversés par les opérations du projet global Cigéo ; 2. Des éventuels sites classés/sites inscrits ; 3. Des points de vue représentatifs du territoire (paysages lointain et proche).
Rapprochée	Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs Aire d'étude du projet global Cigéo incluant les territoires susceptibles d'être affectés indirectement ou directement par le projet global Cigéo (sous-unités paysagères, communes).	Cette aire d'étude permet d'évaluer les modifications substantielles apportées par le projet global Cigéo sur le paysage et d'identifier tous les sites patrimoniaux et activités de loisirs susceptibles d'être impactés par le projet global Cigéo. La description des unités paysagères est effectuée à l'échelle de cette aire d'étude rapprochée. La description des sous-unités paysagère et l'analyse paysagère sont quant à elles réalisées sur une « zone de visibilité » au sein de l'aire d'étude rapprochée, centrée sur les territoires susceptibles d'être affectés visuellement directement ou indirectement par le projet global Cigéo. À noter que les zone descenderie et zone puits sont implantées sur le plateau Barrois. Ce plateau étant vallonné et partiellement boisé, les effets de covisibilité avec les nouvelles installations du projet global Cigéo sont donc vite masquées par le relief et la végétation au sein du périmètre rapproché.
Éloignée	Aire d'étude du projet global Cigéo qui reprend les départements concernés par le projet global Cigéo : Meuse, Haute Marne, Aube, Vosges et Meurthe-et-Moselle.	Cette aire d'étude permet de recenser les unités de paysage dans lesquelles s'implante le projet global Cigéo.
Spécifique	Aire d'étude spécifique de la ligne 400 kV qui s'étend sur 500 mètres de part et d'autre de la portion de ligne électrique 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	



Figure 1-12 Aires d'étude du paysage

1.2.2.7 Définition des aires d'étude pour les interactions

Les interactions et services écosystémiques ont été évalués à travers deux aires d'étude : immédiate et éloignée (cf. Figure 1-13).

La liste des aires d'étude utilisées et leur description sont indiquées dans le tableau 1-6.

Tableau 1-11 Définition des aires d'étude pour les interactions

Aire d'étude	Description	Justification
Immédiate	Aire d'étude centrée sur la zone d'implantation potentielle envisagée pour les opérations du projet global Cigéo dont l'implantation ou ses variantes sont arrêtées, augmentée d'une zone de 500 mètres 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 permet l'analyse des interactions et des incidences sur les services écosystémiques à l'échelle locale.
Éloignée	Aire d'étude utilisée pour la biodiversité, qui correspond à un cercle de 30 km de rayon centré sur la zone puits du centre de stockage Cigéo. Elle intègre l'ensemble des opérations du projet global Cigéo.	Cette aire d'étude permet d'identifier les interrelations entre les milieux du territoire sur lequel s'insère le projet global Cigéo.

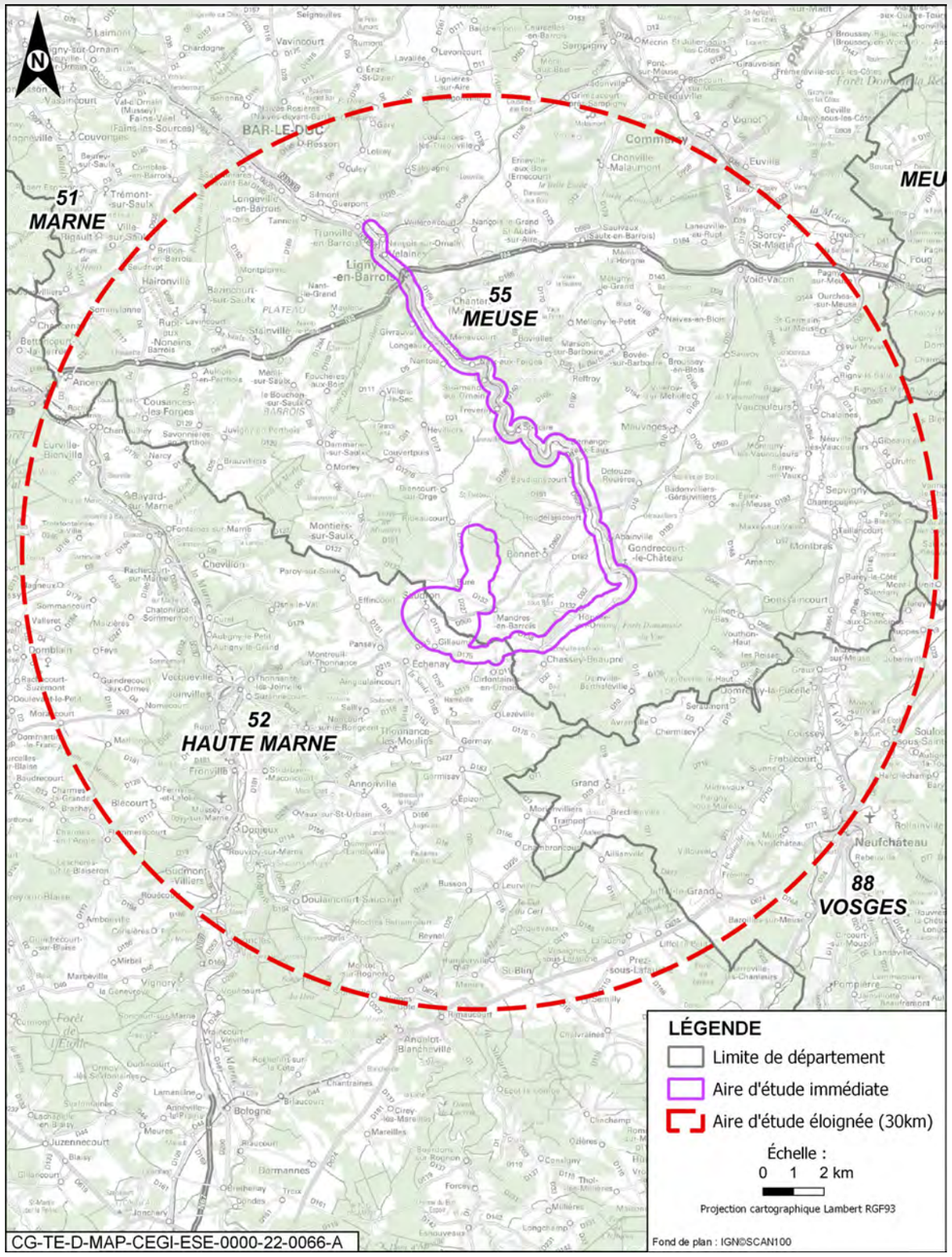


Figure 1-13 Aires d'étude pour les interactions

2

Atmosphère - Méthodes

2.1	La caractérisation du milieu atmosphérique	32
2.2	Conditions météorologiques locales	32
2.3	Vulnérabilité aux risques météorologiques	36
2.4	Énergie et gaz à effet de serre	37
2.5	Qualité de l'air	38

2.1 La caractérisation du milieu atmosphérique

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

L'implication d'échelles multiples, du local au global, de la minute à la décennie, dans les processus atmosphériques et dans les variations des propriétés atmosphériques et leurs incidences potentielles nécessite de mettre en place et de maintenir des réseaux d'observation incluant des mesures couvrant ces échelles. En effet, l'observation des propriétés atmosphériques ne livre d'informations que grâce à une couverture spatiale offerte par les réseaux d'observations (fondamentaux notamment pour la prévision météorologique) et par des séries temporelles longues permettant d'accéder à des descriptions statistiques. Cela implique de partager des protocoles communs d'observation et mettre en commun les données recueillies.

Au niveau international, les principaux programmes d'observations et de suivi météorologiques sont définis et encadrés par l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM). Ils se déclinent régionalement et nationalement par le biais des agences météorologiques nationales telles que Météo-France. Certains programmes sont dédiés au suivi climatologique notamment le *World Weather Watch Program* et le Glob*al Atmosphere Watch* (GAW) *Program*.

La nécessaire transcription des directives européennes a conduit la France à adopter la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (7). Dans le cadre de cette loi la France a choisi de remplir certaines de ces obligations de surveillance par le biais d'associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) au niveau régional.

L'Andra a défini et mis en place, autour du projet global Cigéo, un programme de caractérisation atmosphérique sur le long terme qui s'intègre dans les grands réseaux nationaux et internationaux. Le tableau 2-1 présente les différents partenaires et les réseaux impliqués par grande famille de paramètres.

Tableau 2-1 Partenaires de l'Andra et réseaux impliqués par grande famille de paramètres atmosphériques

Paramètres	Partenaire	Réseau France	Réseau Europe
Pression, température, humidité, vent, précipitations, rayonnement	Météo-France	RADOME	WMO
Gaz effet de serre CO_2, CH_4, N_2O, traceurs	LSCE	RAMCES	ICOS
Polluants SO_2, CO, NOx, O_3 et $PM_{10}/PM_{2,5}$	Atmo Grand Est	MERA	EMEP
Particules : masse, spectre dimensionnel, propriétés optiques, composition…	IGE/LAMP	ATMOS	ACTRIS
Radioactivité gaz, aérosols et dépôts	IRSN	OPÉRA	Ring of 5

Météo-France est le service météorologique et climatologique national. Les missions de base de Météo-France comprennent :

- la sécurité météorologique des personnes et des biens grâce notamment aux dispositifs de Vigilance météorologique à l'élaboration d'une carte de vigilance météorologique ;
- le développement et la maintenance d'un réseau d'observation ;
- la collecte et le traitement de données climatologiques ;
- la prévision du temps ;
- l'élaboration de projections climatiques ;
- la recherche dans les domaines de la météorologie et du climat.

ATMO Grand Est est une association à but non lucratif agréée par le ministère chargé de l'environnement. Elle est en charge de la surveillance de la qualité de l'air dans la région Grand Est. Afin de répondre au mieux aux enjeux majeurs que sont la protection de la santé des populations et la protection de l'environnement, ATMO Grand Est mène les missions suivantes :

- assurer la surveillance réglementaire de la qualité de l'air, grâce à un dispositif de mesures et des outils d'inventaires et de modélisation ;
- informer, alerter et prévenir les citoyens, les médias et les autorités sur les niveaux de pollution ;
- évaluer les expositions de la population de la région Grand Est et des écosystèmes à la pollution de l'air ;
- effectuer une veille sur les enjeux émergents et encourager l'innovation au service de la qualité de l'air et du climat.

2.2 Conditions météorologiques locales

2.2.1 État initial

La conception d'un projet de l'ampleur du centre de stockage Cigéo nécessite de disposer de données fiables. À ce titre, les données de plusieurs stations météorologiques sont étudiées, de manière à fiabiliser le dimensionnement.

Les paramètres météorologiques pris en compte dans cette étude sont la pluviométrie, la température, la vitesse et de la direction du vent, l'humidité relative, la durée d'insolation et de l'évapotranspiration.

Les données météorologiques extrêmes sont celles enregistrées par Météo-France.

L'étude de ces paramètres est primordiale puisqu'ils conditionnent les modèles de dispersion atmosphérique, l'évaluation de la pluie de référence, la modélisation hydrodynamique d'écoulement des eaux souterraine, etc.

La climatologie locale a été déterminée grâce aux relevés de stations météorologiques agréées Météo-France qui sont (cf. Figure 2-1) :

- la station météorologique de Saint-Dizier gérée par le réseau RADOME qui dispose de relevés depuis 1953 pour certains paramètres et qui est située à environ 35 km au nord-ouest du centre de stockage Cigéo ;
- la station atmosphérique d'Houdelaincourt implantée par l'Andra dispose de relevés depuis 2011, et est située plus proche à environ 2,5 km de la ligne ferroviaire 027000, environ 10 km de la zone puits et environ 15 km de la zone descenderie ;
- la station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois située à environ 7 km de la zone puits et environ 5 km au sud de la zone descenderie qui enregistre uniquement les données de précipitations et de température ; elle dispose de données depuis 1959.

RÉSEAU RADOME

Les stations météorologiques professionnelles du réseau de Météo-France, appelé réseau RADOME (Réseau d'acquisition de données et d'observations étendu), sont au nombre de 554 en métropole (une tous les 30 km) et 67 en Outre-Mer.

Ces stations mesurent de façon automatique les paramètres de base que sont la température et l'humidité sous abri, les précipitations et le vent (vitesse et direction) à une hauteur de 10 mètres.

Certaines stations mesurent des paramètres complémentaires comme la pression, l'humidité dans le sol, le rayonnement, la visibilité, l'état du sol, etc.

Les mesures sont effectuées régulièrement et transmises toutes les six minutes, toutes les heures ou une fois par jour selon les paramètres et les besoins, au centre Météo-France de Toulouse.

Les stations météo sont classées selon six grands types, numérotés de 0 à 5 (8) :

- une station de type 0 ou 1 est une station qui effectue des observations quotidiennes et régulières par du personnel formé à cet effet (type 0) et sur place, ou par du personnel non spécialisé (type 1) ;
- une station automatique de type 2, ou 3, ou 5, effectue des mesures issues de capteurs et non des observations du temps comme le temps présent, les nuages, ... Une station de type 2 est interrogée quotidiennement. Une station de type 3 est une station automatique qui fait l'objet d'une exploitation en différée. Une station de type 5 est une station automatique dont l'interrogation est occasionnelle ;
- une station manuelle de type 4 fournit des mesures issues de relevés manuels.

Source : http://www.meteofrance.fr

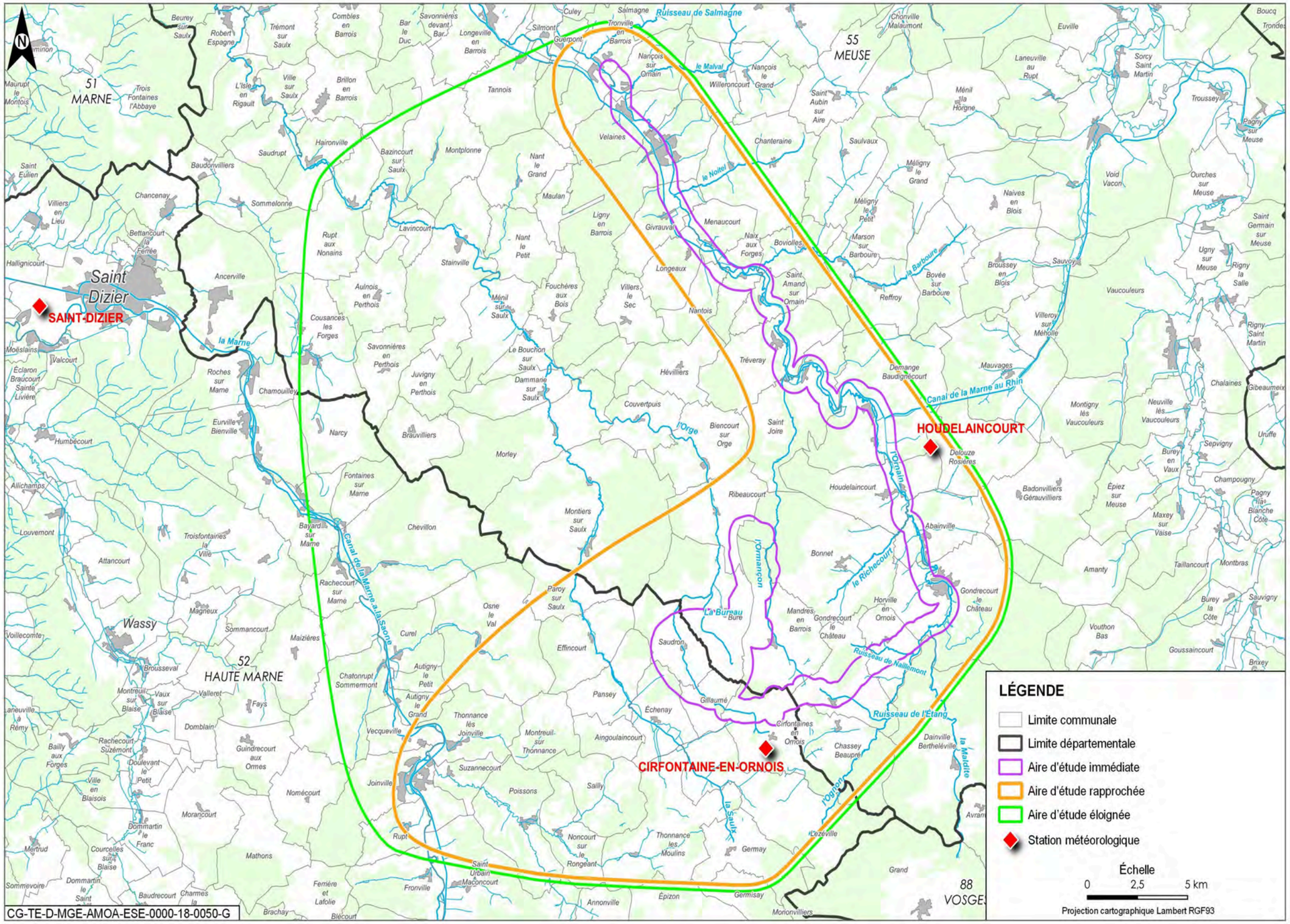


Figure 2-1 Localisation des stations météorologiques d'Houdelaincourt, de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois

2.2.1.1 La station météorologique de Saint-Dizier

La station météorologique de Saint-Dizier, agréée Météo-France, acquiert des données météorologiques depuis les années 1920. Cette station, appartenant au réseau RADOME (Réseau d'acquisition de données et d'observations étendu), est une station de type 0 c'est-à-dire qu'il s'agit d'une station qui effectue des observations quotidiennes et réalisées par du personnel sur place.

Située à environ 35 km au nord-ouest du centre de stockage Cigéo et à 139 mètres d'altitude, la station de Saint-Dizier est localisée dans un contexte topographique différent du plateau barrois. Les statistiques climatiques ainsi que les observations météorologiques sont influencées par cette différence de contexte. La station de Saint-Dizier seule ne peut donc pas être considérée comme représentative pour l'établissement des statistiques climatiques.

Pour cette station, les normales saisonnières présentées dans le chapitre 2 du volume III de la présente étude d'impact portent sur la période 1980 à 2020. Les évènements extrêmes sont recensés depuis 1953.

Ces données météorologiques sont donc complétées par les données météorologiques acquises aux stations d'Houdelaincourt et de Cirfontaines-en-Ornois.

2.2.1.2 La station météorologique et atmosphérique d'Houdelaincourt

L'Andra a implanté la station atmosphérique sur les hauteurs de Houdelaincourt (Meuse) (cf. Figure 2-2), sous les vents dominants du centre de stockage Cigéo. Elle se trouve à environ 2,5 km de la ligne ferroviaire 027000, 10 km de la zone puits et environ 15 km de la zone descenderie. Cette station de type 1 appartient également au réseau RADOME, et permet un suivi permanent et continu de la qualité de l'air et des conditions météorologiques.

Pour cette station, les données présentées dans le chapitre 2 du Volume III de la présente étude d'impact portent sur la période 2012 à 2020.

Elle fait d'ores et déjà partie intégrante :

- de l'observatoire pérenne de l'environnement de l'Andra ;
- du réseau des stations agréées Météo-France ;
- du réseau de surveillance de la qualité de l'air en Lorraine (Atmo Grand Est) ;
- de l'observatoire permanent de la radioactivité de l'air (réseau OPERA-Air) piloté par l'IRSN ;
- du réseau européen de surveillance des gaz à effet de serre (*Integrated Carbon Observation System*, ICOS) qui regroupe de nombreux autres acteurs scientifiques.

Les données de la station atmosphérique de Houdelaincourt alimentent ainsi chercheurs et institutions autour des thématiques de la surveillance de la qualité de l'air et du suivi climatique.

Les observations sont représentatives du fond régional et n'intègrent pas les nombreux effets locaux liés aux caractéristiques topographiques et aux hétérogénéités de surface. Elle est située à plus d'1 km de toutes sources de pollution locale, habitations, routes ou installations agricoles. Cette station a vocation à être la référence pour le fond atmosphérique régional autour du centre de stockage Cigéo.

Cette station n'a donc pas vocation à suivre les effets en champs proche autour des futures installations mais plutôt d'observer les changements de plus grandes échelles ainsi que les évolutions de fond. La représentativité recherchée et attendue va de la zone de l'observatoire pérenne de l'environnement (OPE) (240 km^2) au grand quart nord-est de la France.

La station est située dans une parcelle clôturée de 2 ha. Elle comprend un mât météorologique de 120 mètres et des locaux raccordés aux réseaux électriques et informatiques. La réalisation des mesures, ainsi que l'analyse des données suivent des protocoles validés et permettent un partage des données dans le cadre de réseaux français et européens.

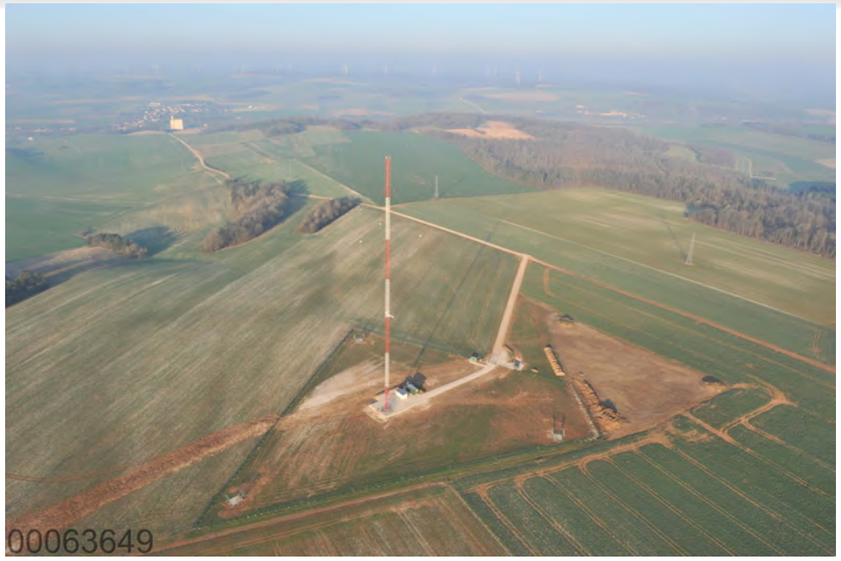


Figure 2-2 *Photographie aérienne illustrant la station atmosphérique de Houdelaincourt et son environnement proche*

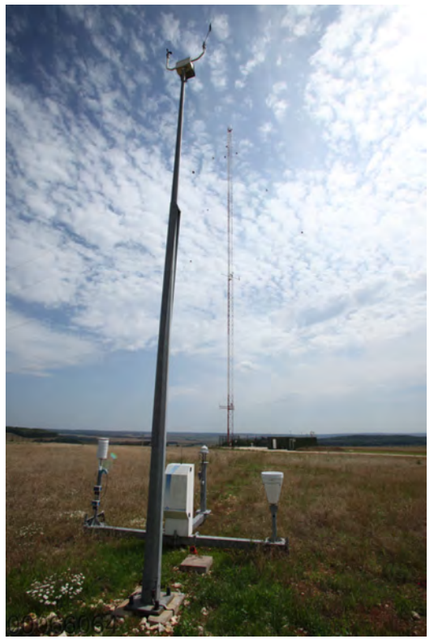


Figure 2-3 *Station météorologique d'Houdelaincourt*

Équipée de capteurs météorologiques (cf. Tableau 2-2), des mesures de température, d'humidité, de vent, de précipitations et de rayonnement y sont effectuées. Le suivi météorologique effectué est défini et encadré au niveau international par l'organisation mondiale de la météorologie (OMM), décliné nationalement et régionalement *via* les agences météorologiques nationales telles que Météo-France.

Tableau 2-2 Paramètres météorologiques mesurés à la station d'Houdelaincourt-Fréquences, prestataires et méthodes associées

Paramètres	Analyseur	Niveau	Fréquence de mesures	Réseau/partenaire
Précipitations	Pluviomètre Précis Mécanique	1 m	1 h/1 jour	RADOME/Météo-France
Température	Sonde PT 100 Pyrocontrole	1 m	1 s/6 min/1 h	RADOME/Météo-France
Vent à 10 mètres de hauteur par rapport au sol	Degréane Déolia 96	10 m	1 s/10 min/1 h	RADOME/Météo-France
Humidité relative	Vaisala HMP45 D	1 m	1 s/6 min/1 h	RADOME/Météo-France
Durée d'insolation	Non mesurée à Houdelaincourt			
Évapotranspiration	Non mesurée à Houdelaincourt			

Les paramètres non mesurés à Houdelaincourt sont pris en compte sur la station de Saint-Dizier.

NOTE IMPORTANTE

La station d'Houdelaincourt est considérée comme la station de référence pour la rose des vents et la qualité de l'air pour le centre de stockage Cigéo.

La mesure des concentrations de gaz à effet de serre à l'état initial CO_2, CH_4, N_2O est réalisée dans le cadre d'une collaboration avec le LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement) qui a permis d'installer et de faire fonctionner la première station atmosphérique du réseau international ICOS (*Integrated Carbon Observing System*) en France. Cette station intègre des mesures et prélèvements *in situ* à trois niveaux 10 mètres, 50 mètres et 120 mètres permettant d'estimer le gradient vertical proche de la surface. Des mesures météorologiques, vent, température, humidité relative et pression sont également réalisées à ces trois niveaux.

Les protocoles d'échantillonnage, de calibration et de distribution d'air, ainsi que les types d'analyseurs ont été établis dans le cadre de l'infrastructure ICOS d'observation des gaz à effet de serre et en respectant les objectifs de qualité de l'OMM (Organisation météorologique mondiale) (GAW, 2012). Les précisions/répétabilités des mesures requises de l'ordre du dixième de la partie par million (ppm) pour le CO_2 et du ppb (partie par milliard) pour le N_2O ne peuvent être atteintes qu'avec des analyseurs utilisant des méthodes spectroscopiques pointues telles que les méthodes *Cavity Ring Down Spectroscopy*. Le réseau européen ICOS a choisi ainsi un analyseur basé sur cette technologie pour le CO_2et le CH_4.

Les analyses en continu, à la fréquence horaire, des composés CO_2, CH_4, N_2O, et CO sont complétées par des prélèvements d'air en flacons (en doublon) qui sont analysés en laboratoire par GC/MS (chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse). La qualité des données produites par les analyseurs spectroscopiques et le système de calibration est donc évaluée grâce aux passages réguliers de gaz étalons indépendants mais également par comparaison aux analyses des échantillons d'air prélevés en flacons.

2.2.1.3 La station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois

La station de Cirfontaines-en-Ornois est une station agréée Météo-France de type 2 qui acquiert des données depuis les années 1950. Elle est localisée à environ 7 km de la zone puits et 5 km au sud de la zone descenderie et se trouve à une altitude de 379 mètres.

Cette station météorologique mesure la température et les précipitations.

Pour cette station, les données présentées dans le chapitre 2 du volume III de la présente étude d'impact portent sur la période 1980 à 2020.

2.2.2 Incidences

Un recensement des incidences potentielles du projet global Cigéo sur le climat est réalisé. Ces incidences sont locales, communes et prises en compte dans la conception du projet.

Des mesures de réduction, telles que le respect des règles de l'art sont mises en place afin de limiter les incidences du projet global Cigéo sur le climat local.

La détermination des incidences résiduelles a été réalisée à dire d'expert.

2.3 Vulnérabilité aux risques météorologiques

2.3.1 État initial

Les risques météorologiques ont été recensés par consultation des sites de Météo France et Géorisques, ainsi que des dossiers départementaux sur les risques majeurs (DDRM) de la Haute-Marne (9) et de Haute Meuse (10).

2.3.2 Incidences

Une analyse de la vulnérabilité potentielle du projet global Cigéo aux risques météorologiques et à l'aggravation de ces risques du fait du changement climatique est réalisée.

Des mesures de réduction dans la conception du projet global Cigéo sont mises en place afin de limiter la vulnérabilité aux risques météorologiques. Ces dispositions de conception concernent les risques liés aux vents extrêmes, variations de températures, chutes de neige, foudre, fortes précipitations.

Le dimensionnement du centre de stockage Cigéo intègre de fait l'aggravation de ces risques liés au changement climatique, car celui-ci a pour conséquences d'amplifier les évènements climatiques extrêmes et d'en augmenter leur fréquence, et les risques météorologiques qui en résultent.

La détermination des incidences résiduelles a été réalisée à dire d'expert.

2.4 Énergie et gaz à effet de serre

2.4.1 État initial

2.4.1.1 Profil énergétique

Le profil énergétique de la région Grand Est est établi selon les chiffres régionaux sur l'énergie et les GES édités par ATMO Grand Est en 2020 pour l'année 2018 (11) ; et l'édition 2020 des chiffres clés des consommations et productions d'énergie 2018 de la région Grand Est (12).

2.4.1.2 Potentiel en énergies renouvelables

Les données présentées dans le chapitre 2 du Volume III de la présente étude d'impact proviennent du bilan 2019 des chiffres clés des énergies renouvelables en région Grand Est (13).

2.4.1.3 Capacité de séquestration carbone

La capacité de séquestration de carbone par les sols et les écosystèmes présents dans l'aire d'étude éloignée est évaluée à partir des données bibliographiques tirées du rapport national d'évaluation de la séquestration de carbone par les écosystèmes en France (14) et du rapport de l'état des sols de France (15). Ces documents soulignent le fait que les stocks actuels de carbone, d'une part, et la séquestration annuelle de carbone, d'autre part, dépendent principalement du type d'écosystème, du type de climat et des pratiques de gestion de l'écosystème par l'Homme.

Les évaluations nationales de l'EFESE permettent de définir les stocks actuels de carbone et les capacités de séquestration de carbone des grands types d'écosystèmes. Le stock actuel de carbone correspond à la quantité de carbone actuellement stockée dans l'écosystème en tCO2e/ha. La capacité de séquestration de carbone (autrement dit l'intensité du puit de carbone) est le flux annuel moyen de carbone entre l'atmosphère et l'écosystème en tCO2e/ha/an. Ce flux est positif si l'écosystème est un puit de carbone et négatif s'il est une source de carbone.

L'aire d'étude éloignée étant soumise à un climat plutôt continental, seules les valeurs indiquées dans le rapport de l'EFESE (14) pour les écosystèmes suivants ont été retenues :

- forêts fermées continentales : stock actuel de l'ordre de 730 à 770 tCO_2/ha, dont la capacité de séquestration peut être qualifiée de très forte (intensité moyenne du puits de carbone des forêts métropolitaines de l'ordre de 5 tCO_2eq/an/ha) ;
- prairies continentales : stock actuel de l'ordre de 330 tCO_2e/ha, dont la capacité de séquestration peut être qualifiée de Modérée (intensité moyenne du puits de carbone de l'ordre de 0,4 tCO_2eq/an/ha à l'échelle nationale) ;
- écosystèmes urbains et artificialisés continentaux : stock actuel de l'ordre de 157 tCO2e/ha, dont la capacité de séquestration peut être qualifiée de nulle (intensité moyenne du puits de carbone de 0 tCO_2/an/ha à l'échelle nationale) ;
- cultures annuelles continentales : stock actuel de l'ordre de 249 tCO_2e/ha, dont la capacité de séquestration peut également être qualifiée de nulle (intensité moyenne du puits de carbone de l'ordre de 0 tCO_2/an/ha à l'échelle nationale).

Par ailleurs, les stocks de carbone dépendent aussi des types de sols sur lesquels reposent ces écosystèmes. Par exemple, d'après les données du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols national présentées dans le rapport sur l'état des sols de France (15), les stocks de carbone actuels dans les 30 premiers centimètres des sols limoneux de cultures intensives tels que ceux du bassin parisien ou de l'aire d'étude éloignée sont qualifiés de faibles à moyens (40-50 t/ha), alors que dans les grandes régions forestières telle que les Vosges, ils sont qualifiés de moyennement élevés (50-70 t/ha). On peut alors affiner la capacité de séquestration de carbone des grands types d'écosystèmes ci-dessus par le type de sol sur lequel ils reposent, en particulier en fonction de leur classe de profondeur et de leur teneur en matière organique. À partir de la nature des différents types de sols présents dans l'aire d'étude éloignée, la capacité de séquestration des écosystèmes a pu être évaluée en réalisant le classement présenté dans le tableau 2-3 suivant.

Tableau 2-3 Classement de la capacité de séquestration carbone des écosystèmes de l'aire d'étude éloignée

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

En partant de cette classification, une représentation cartographique de la capacité de séquestration carbone des écosystèmes de l'aire d'étude éloignée a été réalisée en fusionnant sous SIG (logiciel QGIS v3.10) plusieurs sources de données :

- les cartes pédologiques régionales au 1/250000 : le Référentiel régional pédologique (RRP) de Lorraine, mis à disposition par la Chambre d'agriculture (16), et les RRP de la Haute-Marne (17) et de la Marne (18) fournis par l'unité InfoSol de l'INRAE ;
- la carte d'occupation des sols : Corine Land Cover 2018 (19).

La fusion de ces données cartographiques a ainsi permis de représenter les différents écosystèmes (par exemple, les forêts sur sols peu à moyennement profonds, les pairies sur sols peu profonds de coteaux, etc...) et de leur assigner un niveau de capacité de séquestration carbone de NULLE à TRES FORTE comme indiqué dans le Tableau 1. Les calculs des surfaces concernées par ces différents niveaux de séquestration carbone ont ensuite été réalisés grâce au logiciel QGIS v3.10.

2.4.2 Incidences

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique la France est engagée dans une démarche de réduction des émissions des gaz à effet de serre à travers la loi dite « Climat et Résilience » (20) et la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) (21).

Pour s'ancrer dans cette dynamique, un bilan carbone a été initié dès les premières études d'esquisse (2013) du projet global Cigéo. Ce bilan correspond à une estimation des quantités de gaz à effet de serre (GES) pouvant être générées par le projet en prenant en compte les différentes phases de vie. L'objectif est de « challenger » la conception et de privilégier les solutions minimisant les émissions de gaz à effet de serre. La méthodologie utilisée est celle développée par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie : Bilan Carbone®.

Le bilan carbone du projet est réalisé avec l'outil/logiciel « Bilan Carbone® » Version 7.2. Les facteurs d'émissions sont ceux associés à cette méthode et fournis par l'Association bilan carbone en lien avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de L'énergie (ADEME). Ils prennent en compte l'ensemble du cycle de vie des projets, c'est-à-dire toutes les émissions de GES de leur conception à leur destruction. Ces facteurs d'émission, qui permettent de convertir les données observables en émissions de gaz à effet de serre, sont exprimés en équivalent CO_2 par unité fonctionnelle ($TéqCO_2$/KWh, tonnes de carburants, tonnes d'acier...).

Les émissions sont obtenues avec la formule suivante :

Données (KWh, tonnes de carburants, tonnes d'acier…) × facteur d'émission = Émissions (T éq CO_2)

Ce bilan tient compte des sources d'émission suivantes :

- énergie, séparée en deux postes : énergie en construction et énergie en exploitation ;
- pertes de fluides frigorigènes ;
- intrants, qui correspondent aux matières premières entrantes sur le projet ;
- fret, correspondant à l'acheminement des matières premières ;
- déplacements, incluant les déplacements domicile travail et les déplacements sur site ;
- déchets directs, correspondant aux déchets produits en phase exploitation ;
- immobilisations, incluant les équipements lourds (machines, moteurs, engins, véhicules) et les voiries ;
- artificialisation des sols et modification de la séquestration carbone des écosystèmes ;
- fin de vie, correspondant au démantèlement du site.

2.5 Qualité de l'air

2.5.1 Émissions conventionnelles

2.5.1.1 État initial

Les concentrations moyennes annuelles et journalières des polluants présentées dans le volume III et utilisées pour la définition de la qualité de l'air actuelle sont issues :

- à l'échelle régionale, des données des stations du réseau régional ATMO Grand Est présentées dans le bilan de la qualité de l'air Grand Est (22) ;
- à l'échelle locale de l'aire d'étude rapprochée, des relevés effectués sur la station atmosphérique d'Houdelaincourt décrite au chapitre 2.2.1.2 du présent volume.

Ces concentrations en polluants sont ensuite comparées aux critères nationaux d'évaluation de la qualité de l'air définis aux articles R. 221-1 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, pour obtenir la qualité de l'air actuelle.

Les valeurs de ces critères actuellement en vigueur sont présentées en annexe 1 du présent volume.

Les méthodes analytiques utilisées pour obtenir les concentrations annuelles ou journalières des polluants précités sont indiquées dans le tableau 2-4 et le tableau 2-5.

Tableau 2-4 Méthode analytique utilisée pour la mesure des polluants SO_2, CO, NO_x, O_3 et $PM_{10}/PM_{2,5}$

Polluants	Analyseur	Niveau	Fréquence de mesures	Réseau/partenaire
CO	Thermo Scientific 48 i	3 m	1 s/15 min/1 h	AIR LORRAINE
O_3	Thermo Scientific 49 i	3 m	1 s/15 min/1 h	AIR LORRAINE
NO_x	Thermo Scientific 42 i	3 m	1 s/15 min/1 h	AIR LORRAINE
SO_2	Thermo Scientific 43 i	3 m	1 s/15 min/1 h	AIR LORRAINE
$PM_{10}/PM_{2,5}$	Thermo Scientific TEOM 1405-DF	3 m	1 s/15 min/1 h	AIR LORRAINE

La quantification des métaux lourds réglementés (Pb, As, Cd et Ni) et du benzo(a)pyrène (B(a)p) est obtenue à partir des prélèvements de particules (PM_{10}), puis de l'analyse de ces prélèvements (cf. Tableau 2-5). Depuis 2020, la quantification des composés organiques volatils (COV) vient s'ajouter aux mesures réalisées sur les PM_{10}.

Tableau 2-5 Méthode analytique utilisée pour la mesure des métaux lourds (Pb, As, Ni, Cd)

Polluants	Fréquence d'échantillonnage	Préleveur de particules	Analyse	Laboratoire
COV :	Prélèvements de 14 jours répartis sur l'année	Tubes passifs	Chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (CG-MS)	SynAirGIE
ETM : **Arsenic (As)** **Plomb (Pb)** **Nickel (Ni)** **Cadmium (Cd)**	Prélèvements hebdomadaires répartis sur l'année	Partisol PLUS (fraction PM_{10})	ICP-MS (spectrométrie de masse induite par couplage plasma) après digestion acide	Université Savoie Mont Blanc et TERA environnement

Polluants	Fréquence d'échantillonnage	Préleveur de particules	Analyse	Laboratoire
HAP (B(a)p)	1 prélèvement sur 24 heures tous les 6 jours	Digitel DA 80 (fraction PM_{10})	Chromatographie liquide haute performance (HPLC) et détecteur de fluorescence	Université Savoie Mont Blanc et TERA environnement

En plus des mesures de la qualité de l'air effectuées à la station d'Houdelaincourt, quatre campagnes de suivis périodiques ont été réalisées à proximité des zones puits et descenderie, à des saisons différentes entre novembre 2014 et septembre 2015 (cf. Tableau 2-6) en vue de confirmer la représentativité de la station d'Houdelaincourt en termes de qualité de l'air et d'obtenir des valeurs de benzène non mesurées à la station atmosphérique d'Houdelaincourt.

Au cours de ces campagnes, des analyseurs automatiques embarqués dans la station mobile ont mesuré en continu les concentrations en polluants gazeux (NO_x, SO_2, CO et O_3) et en particules fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$). Les concentrations en benzène sont déterminées par l'intermédiaire de tubes passifs de type « Radiello ».

Tableau 2-6 Campagnes « qualité de l'air » menées à proximité de la zone descenderie

Moyen de mesure (polluant concerné)	Dates des campagnes
Tubes passifs (benzène)	C1 : du 07/11/14 au 21/11/14
	C2 : du 21/01/15 au 06/02/15
	C3 : du 04/05/15 au 18/05/15
	C4 : du 26/08/15 au 16/09/15
Analyseur automatique (NO_x, SO_2, CO et O_3) et en particules fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$)	C1 :du 06/11/14 au 01/12/14
	C2 : du 21/01/15 au 01/03/15
	C3 : du 10/05/15 au 27/05/15
	C4 : du 24/08/15 au 18/09/15

2.5.1.2 Incidences

2.5.1.2.1 Présentation du logiciel de modélisation « ARIA impact »

La modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants conventionnels a été réalisée à partir du logiciel ARIA Impact™ (23) Version 1.8. Ce modèle, développé par ARIA Technologies, permet de réaliser l'analyse statistique de données météorologiques, puis de simuler la dispersion des polluants atmosphériques d'origine industrielle ou automobile (gazeux ou particulaires) issus d'une ou plusieurs sources diffuses ou canalisées selon des formulations gaussiennes (Aria Technologies, 2013 (24) ; Aria Technologies, 2009 (23)).

ARIA Impact™ (23) est donc un modèle de type « gaussien », conforme aux recommandations de l'Agence de l'environnement américain (*Environment Protection Agency* - EPA). ARIA Impact™ répond également aux prescriptions de l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques) pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du guide méthodologique Inéris « évaluation des risques sanitaires dans l'étude d'impact des installations classées – Substances chimiques » (25)).

ARIA Impact™ (23) permet d'étudier l'impact d'une installation en reconstruisant l'impact statistique des émissions à partir d'une chronique météorologique réelle de plusieurs années (cinq ans dans le cas de cette étude). Cette approche donne des résultats cohérents avec les observations des réseaux de la surveillance de la qualité de l'air pour des distances supérieures à 100 mètres.

La démarche utilisée par le logiciel ARIA Impact™ (23) est présentée sur la figure 2-4.

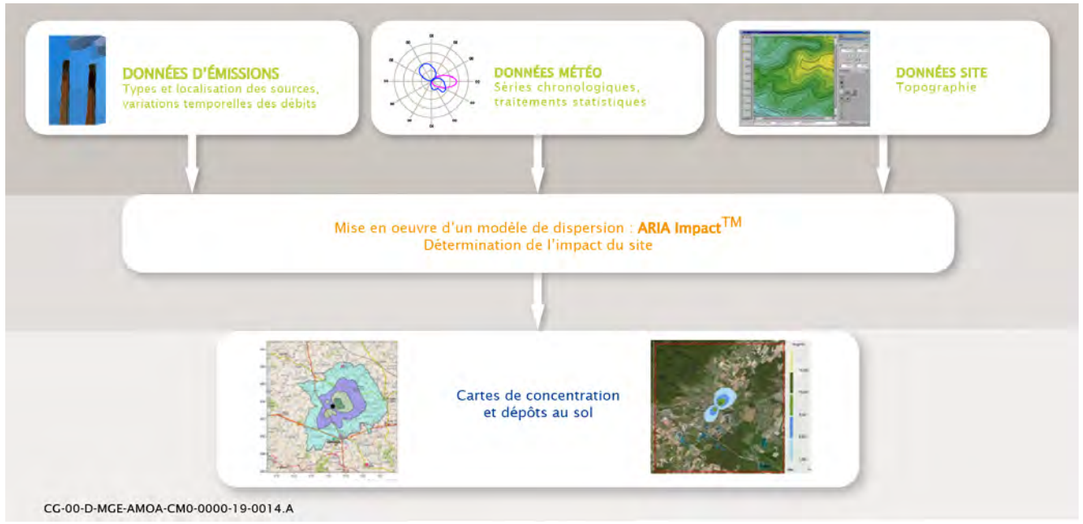


Figure 2-4 Démarche mise en œuvre par le logiciel ARIA Impact™

Les concentrations obtenues par modélisation de la dispersion atmosphérique sont cartographiées (exprimées en µg/m³), en cumul avec les valeurs de fond, afin de permettre une comparaison aux valeurs réglementaires dans l'air ambiant (objectif de qualité de l'air et valeur limite définis à l'article R. 221-1 du code de l'environnement).

Les valeurs de fond, objectif de qualité et valeurs limites pour les différentes substances conventionnelles sont présentées au chapitre 2.4 du volume IV de l'étude d'impact.

2.5.1.2.2 Substances et hypothèses retenues pour la modélisation

a) Substances retenues

La liste des gaz et particules considérés pour l'étude d'incidence de la qualité de l'air sont ceux susceptibles d'être émis en quantité plus ou moins importante à au moins une des phases du projet global Cigéo et lien avec l'article R. 221-1 du code de l'environnement : le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote assimilés au dioxyde d'azote (Nox), les oxydes de soufre assimilés au dioxyde de soufre (SO_2), les PM_{10} et $PM_{2,5}$ et les composés organiques volatiles (COV) assimilés au benzène. Les substances non retenues sont présentées au chapitre suivant.

Les modélisations de dispersion atmosphérique (cf. Volume IV de la présente étude d'impact) couvrent une aire d'étude suffisamment étendue pour prendre en compte les opérations du projet global modélisées à ce stade (zone puits, zone descenderie, liaison intersites et routes du domaine d'étude) et intégrer les zones urbaines situées à proximité (points cibles retenus). Ce domaine d'étude porte sur un carré de 16 km de côté centré sur le point de référence localisé aux centres des installations de la zone puits et de la zone descenderie. Cette surface de modélisation est suffisante pour couvrir la zone d'influence des impacts.

b) Sources d'émissions

Les sources d'émission retenues pour l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air en phases de construction initiale et de fonctionnement sont de trois types :

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

Les différentes sources modélisées sont localisées sur la figure 2-5 et la figure 2-6.

Les données météorologiques « horaires » de la station d'Houdelaincourt ont été utilisées. Ces données couvrent la période du 1er janvier 2015 au 31 décembre 2019. Elles concernent la vitesse et la direction du vent, la pluviométrie et la température.

Le modèle intègre la topographie simplifiée du site et les turbulences aérauliques dues à la présence d'éventuels obstacles entre les sources d'émission et les cibles.

Les émissions des trains circulant sur l'installation terminale embranchée et la voie ferroviaire 027000 n'ont pas été intégrées aux modélisations. Néanmoins la fréquence de passage des trains est suffisamment faible (cf. Chapitre 12.1.2.3 du volume IV de la présente étude d'impact) pour négliger les émissions associées à ces derniers.

c) Émissions sur le centre de stockage

Pour les émissions canalisées des chaudières et des centrales à béton, les valeurs d'émission retenues sont considérées, de façon pénalisante, les plus faibles valeurs limites d'émission de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement. Pour les rejets de ventilation de la descenderie de service et des puits (hors ventilation nucléaire), les valeurs limites d'exposition professionnelles (VLEP) définies à l'article R. 4412-4 du code du travail ont été retenues dans les évaluations, de façon majorante.

Pour les émissions ponctuelles, en dehors des chaudières et des centrales à béton, et les émissions linéiques sur le centre de stockage Cigéo, les poussières totales ont été assimilées à des particules fines de 10 µm et 2,5 µm de diamètre appelé respectivement PM10 et PM2,5. Ce choix est majorant en termes d'évaluation de l'exposition aux poussières, en particulier pour les PM2,5.

Les composés organiques volatils (COV) et les hydrocarbures provenant des gaz d'échappement des véhicules sont partiellement assimilés à du benzène qui présente des dangers bien connus à seuil et sans seuil de dose. Les COV émis font partie des hydrocarbures imbrûlés de la combustion de carburant. D'un point de vue quantitatif, un taux de 5 % a été appliqué sur le total des composés organiques volatils. Ce choix est majorant par rapport à la réglementation en vigueur sur les teneurs maximales en benzène utilisé comme additif dans les carburants qui ne doit pas dépasser 1 % depuis le 1er janvier 2000 (cf. Directive n° 98/70/CE du 13 octobre 1998 concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel et modifiant la directive 93/12/CEE du Conseil (26)). À noter que la teneur moyenne actuelle en benzène dans les carburants atteint 2 % environ et que les quantités de benzène dans les gaz d'échappement sont réduites grâce aux pots catalytiques. Par conséquent, la prise en compte d'un taux de 5 % de benzène dans les gaz d'échappement reste un choix majorant.

En ce qui concerne les chaudières qui sont sources d'émissions de composés organiques volatiles, les proportions de benzène de 1 % et 25 % ont été respectivement retenues pour les chaudières à gaz et biomasse basée sur les dernières estimations à disposition.

Pour les sources d'émissions autres que les gaz d'échappement et les chaudières, le choix très majorant a été d'assimiler la totalité des hydrocarbures et des COV au benzène.

Les caractéristiques des sources retenues et des flux sont précisées dans l'annexe 2 du présent volume.

d) Émissions liées au trafic circulant sur le réseau routier principal

Le calcul des émissions liées au trafic circulant sur le réseau routier principal s'appuie sur les données suivantes :

- le volume de trafic : il s'agit du trafic moyen journalier annuel (TMJA) ;
- les vitesses moyennes des véhicules ;
- le parc automobile ;
- les facteurs d'émissions.

Pour les particules fines (PM10 et PM2.5), les facteurs d'émissions issus du programme COPERT 5 prennent en compte :

- les émissions issues des gaz d'échappement ;
- les émissions liées à l'abrasion mécanique des freins, pneus, routes…

Les données retenues pour cette étude correspondent au trafic routier uniquement induit par le projet global Cigéo sur le réseau routier principal. Elles ont été estimées sur la base des simulations de trafic réalisées par le Cerema (cf. Chapitre 12 des volumes IV et VII de la présente étude d'impact).

Construction initiale

Les émissions ont été estimées en retenant le parc automobile disponible pour l'année de pic correspondant à l'horizon de la phase de construction initiale.

Fonctionnement

Les émissions ont été estimées en retenant le parc automobile disponible pour l'année de pic correspondant à l'horizon de la phase de fonctionnement.

e) Pollution de fond ou bruit de fond

La pollution de fond sur la zone d'étude, présentée dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, a été ajoutée aux résultats des modélisations pour estimer l'impact cumulé. Ces valeurs proviennent de la station de Houdelaincourt et ont été retenues pour les modélisations en phases de construction initiale et de fonctionnement.

Tableau 2-7 Valeurs de bruit de fond retenues

	Moyenne annuelle					
Composés chimiques	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**Moyenne**
NO2 (µg/m³)	6	6	6	5	4	5.5
SO2 (µg/m³)	3	2	3	2	2	2.5
CO (mg/m³)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.15
PM10 (µg/m³)	16	13	13	12	11	13
PM2,5 (µg/m³)	11	9	8	-	-	10*
Benzène (µg/m³)	-	-	-	-	-	0.6**

** En raison de problèmes techniques rencontrés au niveau de l'appareil de mesures, les résultats ne sont pas disponibles pour les années 2018 et 2019. Les concentrations moyennes annuelles mesurées à la station d'Houdelaincourt sont disponibles sur la période 2013-2017. Les concentrations relevées en 2013 et 2014 sont respectivement de 13 et 10 µg/m³. Les teneurs en PM2,5 mesurées sont donc comprises entre 13 µg/m³ et 8 µg/m³. Ces concentrations moyennes annuelles mesurées à Houdelaincourt peuvent être assimilées à un niveau moyen de fond rural.*

*** Le benzène ne fait pas l'objet de suivi continu à la station d'Houdelaincourt. Le suivi est prévu à partir de l'année 2020. La concentration de benzène a néanmoins été mesurée lors d'une campagne mobile effectuée en 2015 à proximité de la zone puits. La valeur moyenne annuelle enregistrée était de 0,6 µg/m³.*

f) Bilan des émissions

Les tableaux suivants présentent le bilan des émissions du projet global Cigéo pour les phases de construction initiale et de fonctionnement. Ils comprennent les émissions de la zone descenderie, de la zone puits, de la liaison intersites et les émissions sur le réseau routier principal emprunté par les véhicules liés au projet global Cigéo. L'ITE et la voie ferroviaire 027000 n'ont pas été prises en compte au vu des trafics ferroviaires attendus (maximum huit passages de train par jour).

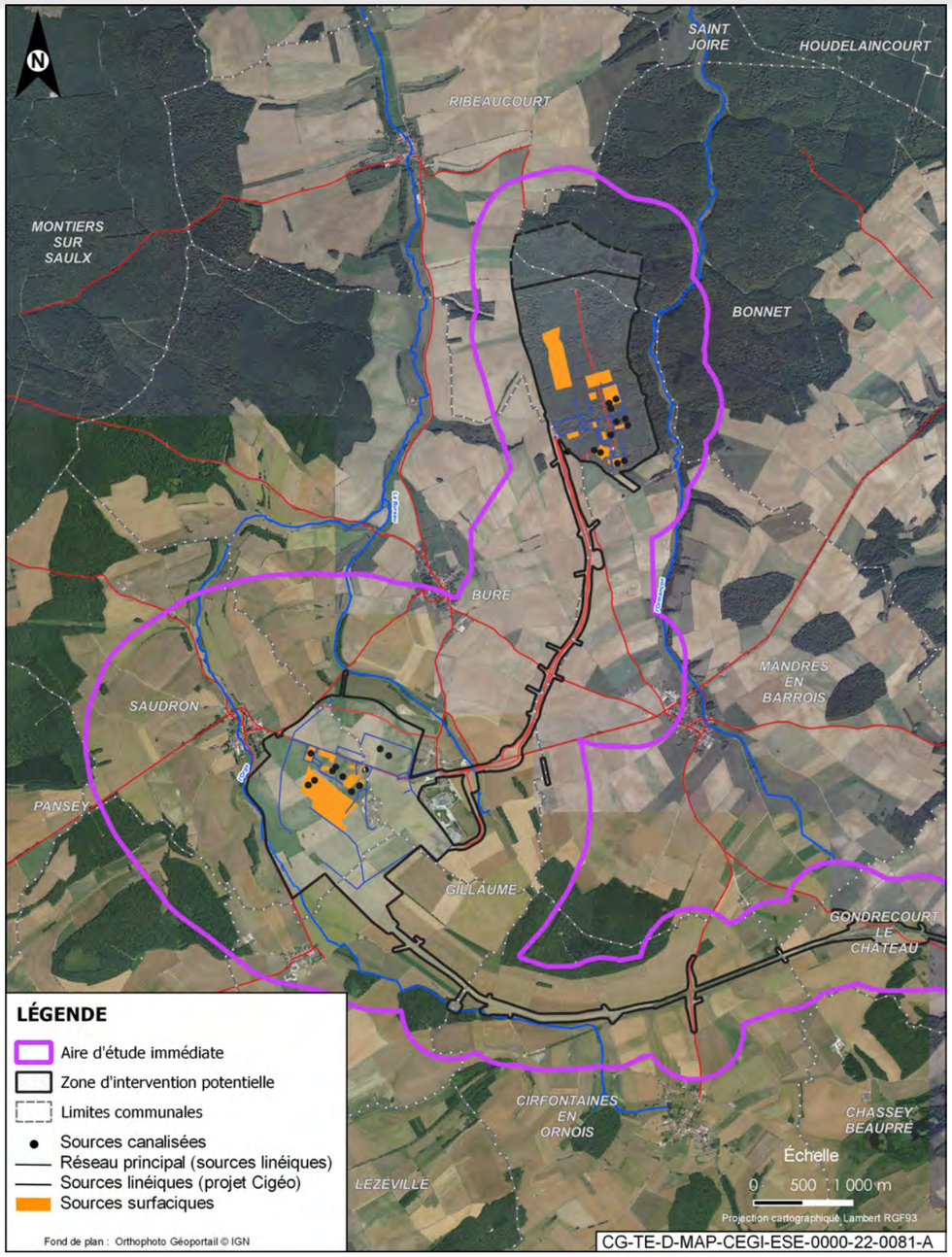


Figure 2-5 *Localisation des sources prises en compte dans la modélisation en phase de construction initiale*

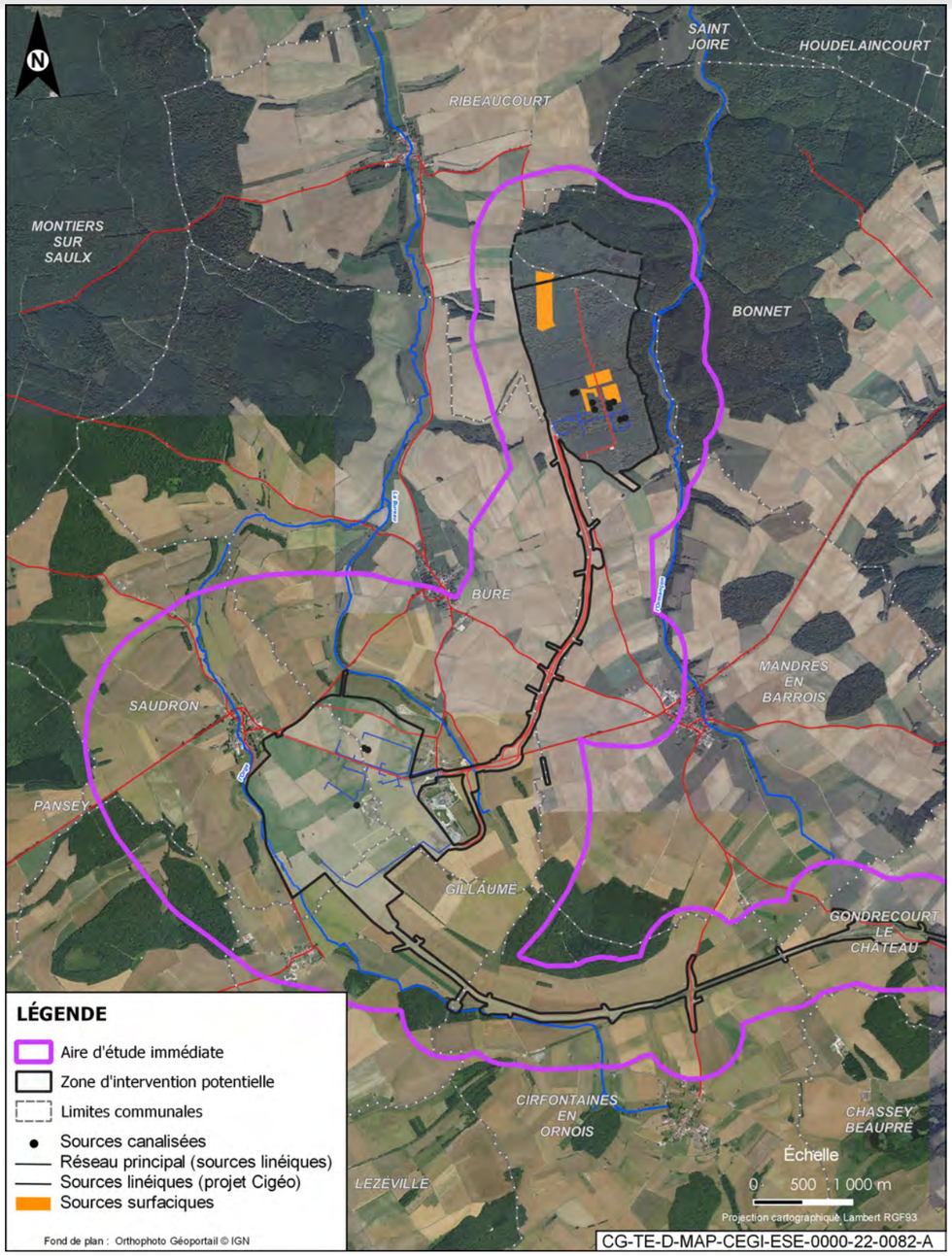


Figure 2-6 *Localisation des sources prises en compte dans la modélisation en phase de fonctionnement*

Tableau 2-8 Bilan des émissions conventionnelles en phase de construction initiale

	Émissions en tonnes/an	Nox	PM10	PM2.5	CO	SO2	Benzène	COV
Zone descenderie	Sources ponctuelles	45.10	123.83	123.78	88.56	7.72	24.91	24.91
	Sources linéiques (circulation véhicules)	2.49	67.21	16.31	9.84	0.00	0.05	0.93
	Sources surfaciques (engins, envols de poussières)	28.47	12.23	5.09	66.82	0.00	0.17	3.47
	Sous-total	76.06	203.27	145.17	165.22	7.72	25.13	29.31
Zone puits	Sources ponctuelles	35.84	67.07	67.04	95.72	1.16	7.18	7.18
	Sources linéiques (circulation véhicules)	1.72	44.17	10.72	6.48	0.00	0.03	0.57
	Sources surfaciques (engins, envols de poussières)	28.28	63.30	11.66	67.35	0.00	0.18	3.64
	Sous-total	65.85	174.55	89.41	169.55	1.16	7.39	11.39
Liaison intersites	Sources linéiques (circulation véhicules)	0.35	4.19	1.03	0.21	0.00	1.44^{E}-04	0.01
	Sous-total	0.35	4.19	1.03	0.21	0.00	0.000	0.01
Trafic extérieur (hors LIS)	Sources linéiques (circulation de véhicules)	2.87	10.26	2.63	2.05	0.00	2.28^{E}-03	0.06
	Sous-total	2.87	10.26	2.63	2.05	0.00	0.002	0.06
	Total	**145.13**	**392.27**	**238.25**	**337.04**	**8.89**	**32.53**	**40.78**

Tableau 2-9 Bilan des émissions conventionnelles en phase de fonctionnement

	Émissions en tonnes/an	Nox	PM10	PM2.5	CO	SO2	Benzène	COV
Zone descenderie	Sources ponctuelles	9.80	1.77	1.58	4.97	3.75	0.93	0.93
	Sources linéiques (circulation véhicules)	0.49	13.01	3.16	1.91	0.00	0.01	0.17
	Sources surfaciques (engins, envols de poussières)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sous-total	10.29	14.78	4.74	6.88	3.75	0.24	1.11
Zone puits	Sources ponctuelles	23.62	127.73	127.61	40.19	5.37	2.80	3.25
	Sources linéiques (circulation véhicules)	1.85	51.47	12.49	7.52	0.00	0.04	0.75
	Sources surfaciques (engins, envols de poussières)	3.06	27.80	5.54	7.29	0.00	0.02	0.40
	Sous-total	28.53	207.01	145.65	55.00	5.37	2.86	4.40
Liaison intersites	Sources linéiques (circulation véhicules)	0.16	5.18	1.28	0.20	0.00	6.15^{E}-05	0.01
	Sous-total	0.16	5.18	1.28	0.20	0.00	6.15^{E}-05	0.01
Trafic extérieur (hors LIS)	Sources linéiques (circulation de véhicules)	0.41	5.16	1.30	0.56	0.00	1.84^{E}-04	0.01
	Sous-total	0.41	5.16	1.30	0.56	0.00	1.84^{E}-04	0.01
	Total	**39.39**	**232.12**	**152.96**	**62.64**	**9.12**	**3.104**	**5.53**

2.5.1.2.3 Substances non retenues

Le benzo(a)pyrène (HAP), l'ozone, les métaux (plomb, cadmium, nickel et arsenic), bien qu'indiqués dans l'article R. 221-1 du code de l'environnement, et l'hexafluorure de soufre n'ont pas fait l'objet de modélisation en phases de construction initiale et de fonctionnement.

Les raisons sont expliquées ci-dessous.

- **hexafluorure de soufre (SF_6)**

  Le projet de création de poste de transformation 400/90 kV prévoit l'utilisation d'hexafluorure de soufre. L'hexafluorure de soufre (SF_6) est un excellent isolant électrique utilisé dans les matériels de coupure électrique (disjoncteurs). Confiné dans des compartiments étanches et indépendants, le SF_6 se présente sous la forme d'un gaz incolore, inodore et cinq fois plus lourd que l'air.

  L'hexafluorure de soufre (SF_6) utilisé pour le projet est confiné dans des enveloppes étanches. Le fonctionnement normal du poste électrique 400/90 kV ne donnera lieu à aucune émission de polluants atmosphériques ;

- **ozone (O_3)**

  Le fort champ électrique présent à la surface des conducteurs des lignes électriques 400 kV, provoque dans l'air, au voisinage immédiat de ces conducteurs, des micro-décharges électriques qui entraînent la formation locale d'ozone dans de faibles quantités.

  Au niveau du sol, une campagne de mesure réalisée à l'aplomb de lignes 400 kV a montré un accroissement de l'ordre de 2 µg/m³. Il s'agit d'une valeur très faible, qui est à la limite de sensibilité des appareils de mesure, et qui ne s'observe que dans certaines conditions (absence de vent en particulier). À titre d'information, la quantité mesurée au voisinage immédiat des conducteurs de lignes 735 kV au Canada montre un accroissement de l'ordre de 14 µg/m³ à 18 µg/m³.

  Si l'on tient compte de la faible durée de vie de l'ozone et de sa dispersion par les courants atmosphériques, sa production par les lignes à très haute tension est parfaitement négligeable par rapport à la production naturelle (quelques µg/m³ la nuit et de 60 µg/m³ à 100 µg/m³ le jour, en fonction de l'ensoleillement).

  Au regard des seuils fixés par la règlementation, l'ozone formé localement au voisinage des lignes électriques à très haute tension ne contribue pas à la pollution atmosphérique ;

- **benzo(a)pyrène (HAP)**

  Les émissions de HAP liées au trafic routier ne sont pas retenues pour les modélisations. En effet, il faut noter que les concentrations de HAP atmosphériques sont très variables dans l'environnement. Elles peuvent ainsi être très faibles (quelques pg/m³) dans les zones reculées et élevées en ville (quelques ng/m³) à proximité des axes routiers ou dans des zones fortement chauffées au bois.

  En Île -de-France, des mesures de benzo(a)pyrène sont effectuées par Airparif depuis une vingtaine d'années sur plusieurs stations de mesures. Pour l'année 2020, les concentrations moyennes annuelles relevées sont bien en-deçà de la valeur cible européenne de 1 ng/m³. Ces mesures en benzo(a)pyrène sont obtenues en milieu urbain et dans un contexte de trafic très dense (Trafic moyen journalier annuel > à 150 000 véhicules pour certains tronçons). Les projections de trafic avec le projet global Cigéo sur l'aire d'étude rapprochée montrent que les tronçons les plus denses présenteront un trafic moyen journalier annuel d'environ 20 000 véhicules.

  Les conditions locales à Bure sont différentes de celles rencontrées en Île-de-France : contexte agricole et non urbain, avec peu de grands axes routiers à Bure ainsi qu'un climat de type continental à Bure et océanique en Île -de-France. En tenant compte de ces conditions, les concentrations moyennes annuelles de benzo(a)pyrène ne devraient pas dépasser celles relevées en Île-de-France et en conséquence atteindre la valeur cible européenne de 1 ng/m³.

- **les métaux**

  Concernant les rejets de métaux, tels que spécifiés aux 3) et au 8) de l'article R. 221-1 du code de l'Environnement relatif à la surveillance de la qualité de l'air, il n'a pas été identifié de sources d'émissions de métaux tels que le nickel, le plomb, le cadmium ou l'arsenic. En effet :

  - ✓ le plomb (Pb), était principalement émis par le trafic automobile jusqu'à l'interdiction de l'essence plombée (1er janvier 2000). Les autres sources d'émission de plomb sont principalement liées à la fabrication de batteries électriques, la fabrication de certains verres (cristal), etc. Ces activités sont non présentes sur le projet global Cigéo ;
  - ✓ le nickel (Ni) est émis essentiellement par la combustion du fioul lourd qui contient de traces de ce métal mais aussi par les aciéries électriques. Ces activités sont non présentes sur le projet global Cigéo ;
  - ✓ les émissions anthropiques de cadmium (Cd) sont essentiellement induites par la production de zinc et l'incinération de déchets. Ces activités sont non présentes sur le projet global Cigéo ;
  - ✓ les émissions anthropiques de l'arsenic (As) sont induites, d'une part, par les traces de ce métal dans les combustibles minéraux solides ainsi que dans le fioul lourd et, d'autre part, par certaines matières premières utilisées notamment dans des procédés comme la production de verre, la métallurgie des métaux ferreux et non ferreux. Ces activités sont non présentes sur le projet global Cigéo.

2.5.2 Émissions radioactives

2.5.2.1 État initial

2.5.2.1.1 Origine des éléments radioactifs présents dans l'environnement actuel

La présence d'éléments radioactifs dans l'environnement, souvent à l'état de traces, peut avoir deux origines :

- **naturelle :** cosmogénique (éléments radioactifs créés quand un rayon cosmique de haute énergie interagit avec le noyau d'un atome de l'atmosphère) ou tellurique (éléments radioactifs présents depuis l'origine dans le magma qui a formé l'écorce terrestre : ^{232}Th, ^{235}U et ^{238}U) ;
- **artificielle** : liée à une activité humaine (accidents nucléaires, essais atmosphériques d'armes nucléaires, activités nucléaires industrielles, de recherche ou médicales).

Certains éléments radioactifs ont les deux origines. C'est le cas par exemple du ^{3}H (tritium), du ^{14}C (carbone 14), des isotopes de l'uranium (^{235}U, ^{238}U) ou encore du ^{85}Kr (krypton 85).

Seul le niveau de radioactivité des éléments radioactifs ou leur ratio isotopique (rapport entre deux isotopes du même élément) permettent d'en distinguer l'origine. Par exemple, un ratio $^{235}U/^{238}U$ autour de 0,72 est caractéristique de l'uranium naturellement présent dans l'environnement. Un ratio $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ de 0,03 et un ratio $^{241}Am/^{239+240}Pu$ de 0,4 sont révélateurs des retombées d'essais nucléaires. Un ratio $^{134}Cs/^{137}Cs$ de 1 est caractéristique des retombées de l'accident de Fukushima.

Des isotopes du plutonium, issus des retombées des tirs atmosphériques d'armes nucléaires effectués dans les années 1960, sont également encore détectables dans la région.

Les éléments radioactifs pouvant être présents à l'état naturel et/ou artificiels dans l'aire d'étude ont été recherchés et mesurés (cf. Tableau 2-10). Ils constituent le bruit de fond radiologique ambiant.

Tableau 2-10 Éléments radioactifs naturels et artificiels recherchés dans l'aire d'étude du projet global Cigéo

Sources		Radionucléides
Radioactivité naturelle	**Cosmogénique**	Béryllium 7 (^{7}Be), Sodium 22 (^{22}Na)
		Krypton 85 (^{85}Kr)
		Carbone 14 (^{14}C)
		Autres émetteurs gamma
		Tritium (^{3}H)
	Tellurique	Potassium 40 (^{40}K)
		Thorium 232 (^{232}Th) et descendants

Sources		Radionucléides
		Uranium 235 (^{235}U) et descendants
		Uranium 238 (^{238}U) et descendants (^{234}U, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{210}Pb ^{210}Po)
Radioactivité artificielle	**Essais nucléaires**	Carbone 14 (^{14}C)
		Césium 137 (^{137}Cs)
		Plutonium et Américium ($^{239+240}$Pu, ^{238}Pu, ^{241}Am)
		Strontium 90 (^{90}Sr)
	Tchernobyl	Césium 137 (^{137}Cs)
		Strontium 90 (^{90}Sr)
	Fukushima	Césium 134 et 137 (^{134}Cs, ^{137}Cs)
	Industrie nucléaire	Tritium (^{3}H)
		Carbone 14 (^{14}C)
		Krypton 85 (^{85}Kr)
		Iodes (^{125}I, ^{131}I, ^{129}I)
		Thorium 232 (^{232}Th et descendants)
		Uranium 235 (^{235}U et descendants)
		Uranium 238 (^{238}U) et descendants (^{234}U, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{210}Pb ^{210}Po)

Plusieurs campagnes de prélèvements ont été réalisées pour établir le bruit de fond radiologique sur les différents compartiments de l'environnement : atmosphère, eaux souterraines et superficielles, sols, sous-sol et milieu biologique (produits agricoles et naturels). La principale campagne a été réalisée entre 2009 et 2013 par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Les résultats du suivi annuel radiologique du Laboratoire souterrain a également été utilisé. Enfin, une campagne spécifique sur les eaux superficielles a été menée en 2017.

Il est à noter que la date précise des prélèvements a peu d'importance pour établir le bruit de fond radiologique du fait de l'absence de variations interannuelles des éléments radioactifs présents dans l'environnement, en particulier dans les sols, les eaux et les produits biologiques, sauf en cas d'accidents nucléaires. La qualité radiologique de l'air est mesurée en continu à la station atmosphérique d'Houdelaincourt.

Les éléments radioactifs spécifiques des futures activités du centre de stockage Cigéo font bien partie de la liste des éléments radioactifs recherchés. Il s'agit du ^{3}H, du ^{14}C, du ^{85}Kr et des émetteurs alpha (α) et béta (β).

La méthode de mesure des éléments radioactifs est liée au type de rayonnement qu'ils émettent. La méthode de préparation des échantillons dépend de la matière dans laquelle peuvent se trouver les éléments radioactifs à mesurer (air, roche, sol, eau, plante, tissu animal), dénommée par la suite « matrice ».

Les différentes méthodes de mesure utilisées et les matrices dans lesquelles ont été recherchés les éléments radioactifs de l'état initial de l'environnement du projet global Cigéo sont présentées dans le

tableau 2-11 ci-après.

Tableau 2-11 Méthodes de mesure des éléments radioactifs de l'état initial de l'environnement et matrices dans lesquelles ils sont recherchés

Éléments radioactifs	Méthodes d'analyse	Matrices
^{3}H	Scintillation liquide (Norme NF M60-802-1 de 2000 (28) et NF EN ISO 9698 pour les analyses 2016 (29))	Air (piégeage dans l'eau du barboteur), eau de pluie, feuilles d'arbre, matrices aquatiques
^{14}C	Scintillation liquide (Norme NF M60 812-1 et 2 de 2006 (30, 31) et NF EN ISO 13162 pour les analyses 2016 (32))	Air (piégeage dans la soude du barboteur), feuilles d'arbre, matrices aquatiques, sols
Autres émetteurs gamma incluant ^{134}Cs, ^{137}Cs	Spectrométrie gamma (NF M60-790-6 de 1999 (33))	Air (aérosols sur filtres), matrices biologiques, roches (sous-sol), matrices aquatiques, sols
	Détecteur au germanium (NF EN ISO 18589-3 de 2018 (34)) Spectrométrie gamma (méthode IAEA n°295 (35)) Spectrométrie gamma (NF EN ISO 10703 pour les analyses réalisées en 2016 (36))	Filtres atmosphériques, matrices biologiques
^{40}K	Spectrométrie gamma ou mesure du potassium chimique	Matrice biologiques, sols
^{232}Th et descendants	Spectrométrie Alpha (méthode IRSN selon les normes NF EN ISO 17294-1 de 2007 (37) et NF EN ISO 17294-2 de 2016 (38))	Aérosols (filtres)
^{235}U et descendants ^{238}U, ^{234}U et descendants	Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)	Matrices biologiques (céréales, légumes feuilles, herbe, lait), roches (sous-sol), matrices aquatiques, aérosols
	Spectrométrie de masse à thermo-ionisation (TIMS)	Sols
Radon	Détecteur passif	Sol (exhalation)
^{210}Po (descendant du radon provenant du sol)		Matrices biologiques aériennes (herbe, légumes feuilles), matrices aquatiques
$^{239+240}$Pu, ^{238}Pu, ^{241}Am	Spectrométrie Alpha (méthode IRSN selon la norme NF M 60-790-8 de 1999 (39))	Air (aérosols sur filtres), matrices biologiques (légumes feuilles, herbe, foie et os de sanglier), roches, matrices aquatiques
^{90}Sr	Méthode IRSN selon la norme NF M60-790-7 de 1999 (40) Scintillation liquide	Air (aérosols sur filtres), matrices biologiques (herbe, légumes feuilles, lait, fromage, os de sanglier), roches, matrices aquatiques
Apha et beta global	NF M60-790-5 de 1999 (41) et NF M60-800 et 801 de 2004 pour les analyses 2008 (42, 43) NF EN ISO 10704 de 2019 (44) pour les analyses 2016	Matrices solides (sols, matrices biologiques) Eau

Les différents lieux de prélèvements des échantillons pour les mesures de la radioactivité sont représentés sur la cartographie ci-après.

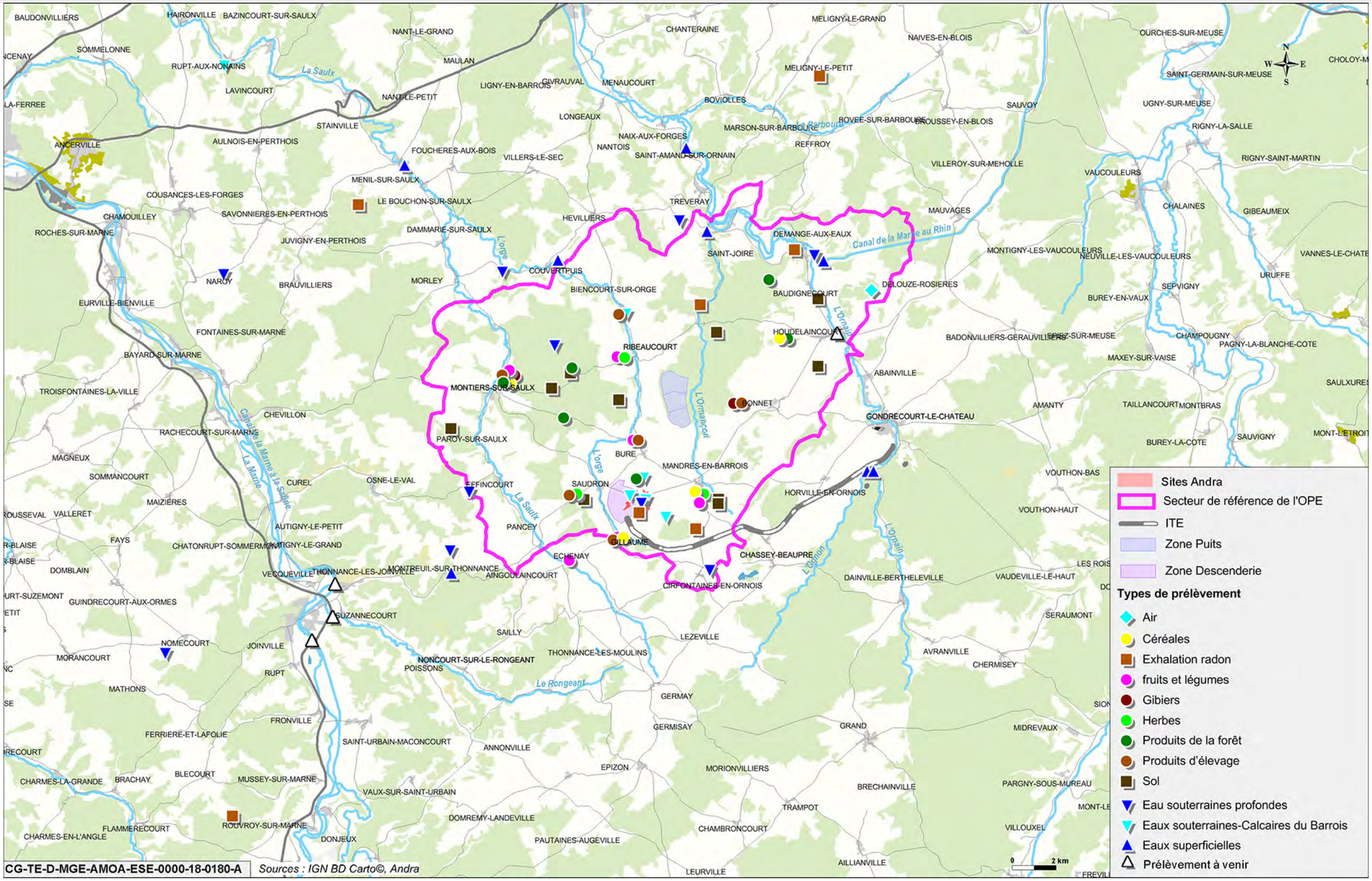


Figure 2-7 Localisation des points de prélèvement des échantillons pour les mesures de la radioactivité

2.5.2.1.2 Méthodes d'analyse des éléments radioactifs de l'état initial de l'environnement

Les mesures sur les prélèvements effectués ont été réalisées, soit par des laboratoires de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), soit par le laboratoire d'analyse de Subatech de Nantes (prélèvements effectués dans le cadre de la surveillance du Laboratoire souterrain), tous agréés.

Pour caractériser le fond radiologique atmosphérique, l'Andra exploite, depuis 2011, une station atmosphérique localisée à Houdelaincourt (à environ une dizaine de kilomètres à vol d'oiseau au nord-est des installations du centre de stockage et à une altitude surplombant le secteur). Cette station est fortement instrumentée (pylône de 120 mètres, équipé de nombreux capteurs météorologiques et de prélèvement d'air à trois hauteurs, d'un laboratoire de prélèvement d'échantillons atmosphériques et d'analyses en ligne). La représentativité spatiale des mesures qui y sont réalisées va de quelques dizaines de km^2 à plusieurs milliers de km^2 selon le polluant.

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

Les prélèvements qui y sont réalisés depuis 2011 concernent les aérosols et les retombées atmosphériques (eau de pluie et gaz (^{14}C, ^{3}H)). Les mesures radiologiques qui y sont réalisées sur les aérosols sont publiées régulièrement sur le site Internet du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM).

a) Analyse des aérosols

La plupart des éléments radioactifs recherchés sont adsorbés sur des particules en suspension dans l'air qu'on appelle aérosols. Il s'agit d'éléments radioactifs d'origine naturelle : ^{7}Be, ^{40}K, ^{228}Ac, ^{241}Am, ^{22}Na, ^{234}Th, ^{210}Pb, isotopes de l'uranium et des éléments radioactifs d'origine artificielle : ^{110m}Ag, ^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{60}Co, ^{58}Co, ^{57}Co, ^{131}I, ^{154}Eu, ^{54}Mn, ^{106}Rh, ^{124}Sb, ^{125}Sb, ^{90}Sr, $^{239+240}Pu$, ^{241}Am.

Afin de quantifier la radioactivité des particules atmosphériques et vu les faibles niveaux ambiants de radioactivité, des collecteurs à très grands débits ont été utilisés afin de disposer de quantité d'aérosols suffisante et de pouvoir mesurer de très faibles concentrations. Les aérosols sont collectés régulièrement sur un filtre, en fibres de polypropylène, de type électret, caractérisé par une très haute efficacité de collecte vis-à-vis du spectre granulométrique de l'aérosol ambiant. Le minimum d'efficacité est de 75 % pour des aérosols de 20 nm de diamètre aérodynamique et devient supérieur à 90 % pour des aérosols de 50 nm. La masse sèche de particules prélevées est estimée à partir de la différence des masses des filtres utilisés, avant et après collecte des aérosols, après un passage à l'étuve à 40 °C pendant 24 heures.

Les éléments radioactifs recherchés sont ensuite estimés par spectrométrie gamma selon la méthode IAEA n° 295 (35) sur les filtres prélevés toutes les semaines. Le ^{90}Sr, les $^{239+240}Pu$, l'^{241}Am et les isotopes de l'uranium présents à l'état d'ultra-traces, sont recherchés tous les trois mois après regroupements de plusieurs échantillons préalablement mesurés par spectrométrie gamma, de façon à constituer un échantillon composite d'un volume suffisant pour dépasser les limites de détection.

» SPECTROMÉTRIE GAMMA

La spectrométrie gamma est une technique de mesure nucléaire très utilisée pour identifier des éléments radioactifs par la mesure de l'énergie de' rayonnements gamma émis, à l'opposé de la technique utilisant un compteur Geiger qui lui ne détecte que la présence de rayonnement gamma sans pouvoir fournir une information sur la nature de la source détectée. Elle s'appuie notamment sur la physique des semi-conducteurs (généralement au germanium) mis en jeu dans la détection par des détecteurs composés d'un cristal. La mesure par spectrométrie gamma peut rendre compte des activités de quelques radionucléides alpha des chaînes naturelles de l'uranium et du ^{232}Th, de l'^{235}U et de l'^{238}U, lorsqu'ils sont émetteurs gamma, avec des énergies suffisantes et distinctes.

Le ^{90}Sr est mesuré, selon la norme NF ISO 18589-5 de 2009 (45), par comptage proportionnel après radiochimie suivant une méthode interne du Laboratoire de métrologie de la radioactivité dans l'environnement (LMRE) situé à Orsay. Les isotopes du plutonium et l'américium sont analysés après radiochimie par spectrométrie alpha selon la norme NF M 60790-8 de 1999 (39). Les isotopes de l'uranium sont analysés après radiochimie par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) suivant une méthode interne du LMRE et selon les normes NF EN ISO 17294-1 de 2007 (37) et NF EN ISO17294-2 de 2016 (38).

» SPECTROMÉTRIE DE MASSE A PLASMA A COUPLAGE INDUCTIF (ICP-MS)

La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif, ou ICP-MS, est un type de spectrométrie de masse capable de détecter les éléments à des concentrations très faibles, pouvant aller jusqu'à une partie par billiard (1 000 000 000 000 000 ; un million de milliard) lorsque le bruit de fond radiologique est assez faible ou interfère peu.

b) Analyse du ^{14}C

À la station atmosphérique d'Houdelaincourt, le ^{14}C gazeux est échantillonné en continu grâce à un barboteur de la marque SDEC modèle HAG 7000, muni de quatre pots. Après filtration des aérosols de l'air, le barbotteur piège le ^{14}C sous sa forme dioxyde de carbone (CO_2) dans une solution de soude dans les deux premiers biberons. Les autres formes carbonées présentes dans l'air (CH_4...) sont oxydées dans un four à catalyseur puis piégées dans une même solution de soude dans les deux derniers biberons. Le barbotteur est équipé d'un système de réfrigération qui permet de maintenir les solutions de piégeage à une température moyenne de 7 °C (pour une température ambiante de 20 °C) et de minimiser ainsi la perte possible d'échantillon par évaporation.

Les solutions de soude, qui ont piégé le ^{14}C sous ses différentes formes chimiques, sont ensuite envoyées tous les trois mois en laboratoire pour un comptage en scintillation liquide après précipitation au chlorure de baryum et dissolution suivant la norme NF M 60 812-1 de 2006 (30). L'activité du ^{14}C est rapportée au volume d'air échantillonné dans l'appareil.

c) Analyse du tritium

Le tritium atmosphérique est échantillonné par un barboteur (muni de quatre pots) similaire au barbotteur utilisé pour le ^{14}C mais la solution de piégeage utilisée est de l'eau. Après filtration des aérosols, l'air circule dans les deux premiers pots dans lesquels la vapeur d'eau tritiée (forme chimique HTO) est piégée. Ensuite l'air passe dans un four à catalyseur dans lequel le tritium présent sous d'autre forme gazeuse, comme l'HT (hydrogène tritié) ou le CH_3T (méthane tritié), est oxydé sous forme vapeur puis piégé par le principe de barbotage dans les deux derniers biberons. Le barbotteur est équipé d'un système de réfrigération qui permet de maintenir les solutions de piégeage à une température moyenne de 7 °C (pour une température ambiante de 20 °C) et de minimiser ainsi la perte possible d'échantillon par évaporation.

Les solutions d'eau sont ensuite envoyées en laboratoire pour un comptage en scintillation liquide suivant la norme EN ISO 9698 (29) pour la méthode ALOKA. La radioactivité mesurée en tritium est rapportée au volume de la solution.

d) Analyse du krypton 85

Le ^{85}Kr, gaz rare, a fait l'objet de prélèvements spécifiques (échantillons de 1 m^3 à 4 m^3), au cours de campagnes ponctuelles définies par rapport à la provenance des vents dominants, notamment ceux pour lesquels la station pouvait être considérée comme située sous les vents de l'usine de la Hague qui constitue l'une des deux sources principales de ^{85}Kr dans l'air à l'échelle européenne avec l'usine de Sellafield située en Grande Bretagne. La mesure du ^{85}Kr présent à très faible niveau (de l'ordre de 2 $Bq.m^{-3}$) nécessite une étape de concentration sur du charbon actif à très basse température. Le comptage du ^{85}Kr enrichi est ensuite réalisé par spectrométrie gamma.

e) Analyse du radon

Les mesures d'exhalation de radon sont effectuées in-situ à l'aide d'un dosimètre passif. Un micro-ordinateur associé à un microscope équipé d'une caméra permet ensuite de reconnaître et de compter les traces des particules alpha du radon.

» DOSIMÈTRE PASSIF

On appelle passifs des dosimètres n'ayant pas besoin de source externe d'énergie pour fonctionner. Ce sont des dosimètres intégrateurs, c'est-à-dire qu'ils ne donnent qu'une estimation d'une dose globale sur une période définie. Une durée de mesure minimale d'une semaine est nécessaire afin d'inclure un nombre minimum de cycles de variation journalière.

2.5.2.2 Incidences

2.5.2.2.1 Méthode d'évaluation des émissions atmosphériques radioactives

Les émissions radioactives pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage Cigéo proviennent du relâchement de certains éléments radioactifs gazeux (tritium, ^{14}C, ^{85}Kr), par les colis de déchets MA-VL et de la présence potentielle d'éléments radioactifs particulaires (aérosols) sur les surfaces externes des colis de déchets qui sont réceptionnés, dans la limite acceptable de la réglementation des transports.

a) Démarche générale

L'évaluation de ces émissions est effectuée avec des hypothèses majorantes, à savoir :

- les colis de déchets présentant des émissions d'éléments radioactifs gazeux (principalement les déchets de structure des combustibles usés des réacteurs à eau pressurisée compactés et conditionnés en conteneurs standards de déchets compactés et les déchets activés issus des réacteurs) sont considérés comme susceptibles d'être présents à la fois dans l'installation nucléaire de surface (réception et transfert) et dans l'installation souterraine (stockage en alvéole) ;
- les caractéristiques des éléments radioactifs gazeux émis par ces colis de déchets sont évaluées, à partir des données de connaissances fournies par les producteurs de déchets radioactifs, et de façon majorée, notamment sans tenir compte de la capacité de rétention de ces gaz par le conteneur ;
- l'ensemble des colis de déchets reçus et stockés est considéré comme pouvant présenter une contamination surfacique labile (éléments radioactifs particulaires) au niveau maximal des seuils autorisés, et que cette contamination est totalement remise en suspension dans l'air ;
- concernant les éléments radioactifs particulaires (aérosols), l'efficacité des filtres très haute efficacité (THE) équipant les ventilations des installations est considérée égale à 99 % (minimum requis par la norme de fabrication).

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

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

b) Quantification des émissions gazeuses

La démarche d'évaluation des émissions gazeuses comprend quatre étapes (cf. Figure 2-8).

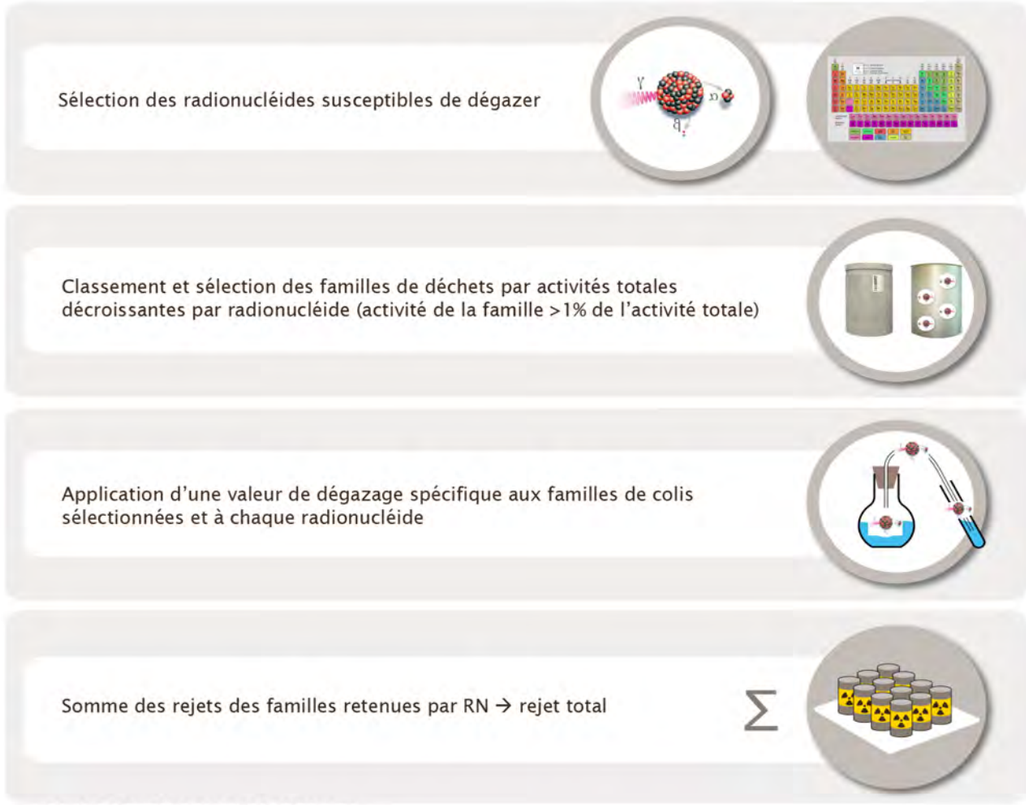


Figure 2-8 Principes de calcul de l'estimation des rejets gazeux

Les éléments radioactifs gazeux susceptibles d'être émis par les colis de déchets radioactifs sont le ^{3}H, le ^{14}C et le ^{85}Kr.

Les calculs à partir des activités en radium présentes dans certains colis dégazant potentiellement du radon montrent que l'activité ajoutée dans l'air en ^{222}Rn est négligeable, bien inférieure au $Bq.m^{-3}$. La valeur de référence en France est une concentration dans l'air de 300 $Bq.m^{-3}$ définie comme le niveau de référence de l'activité volumique moyenne annuelle en radon dans les immeubles bâtis dans l'article R. 1333-28 du code de la santé publique. Ce seuil a été établi sur la base de recommandations internationales, dont l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Rappelons que la concentration moyenne dans l'air extérieur, correspondant au bruit de fond, varie entre 5 et 15 $Bq.m^{-3}$.

Les différents types de colis contribuant aux émissions gazeuses du centre de stockage Cigéo et leurs niveaux de radioactivité sont présentés dans le tableau 2-12. Chacune des trois catégories de colis primaires, déchets de structure CSD-C, déchets activés C1PG et autres divers CEA, comporte différentes familles de colis primaires qui ne contribuent pas de la même façon à l'activité en tritium, carbone 14 et krypton 85.

Le nombre de colis par catégorie indiqué dans le tableau correspond donc à différentes familles de colis primaires en fonction de chaque élément radioactif.

Tableau 2-12 Colis contribuant aux émissions gazeuses du centre de stockage Cigéo et activités associées

Colis	Tritium			Carbone 14			Krypton 85		
	Nombre de colis	Part de l'activité totale en tritium	Activité en tritium	Nombre de colis	Part de l'activité totale en tritium	Activité en tritium	Nombre de colis	Part de l'activité totale en tritium	Activité en tritium
	Nb.	%	Bq	Nb.	%	Bq	Nb.	%	Bq
Déchets de structure (CSD-C ou assimilés)	51 803	98	1×10^{18}	40 570	6	1×10^{16}	52 203	98,8	6×10^{16}
Déchets activés issus des réacteurs (C1PG)	1 200	2	2×10^{16}	7 560	88	2×10^{14}			
Déchets divers CEA				3 300	4	6×10^{14}			
Total		100	1×10^{18}		98	2×10^{16}		98,8	6×10^{16}

Ces gaz radioactifs présents dans les déchets sont relâchés progressivement en dehors de leur matrice d'immobilisation. Les taux de relâchements gazeux des colis sont définis sur la base des données fournies par les producteurs des déchets, soit à partir de mesures directes, soit à partir de modèles de calculs. Ils sont restitués dans le tableau 2-13.

Tableau 2-13 Taux de relâchement en tritium, carbone 14 et krypton 85, des colis de déchets radioactifs

Types de colis de déchets	Fraction/jour	Fraction/an
^{3}H		
Déchets de structure compactés (CSD-C)	$1{,}10 \times 10^{-9}$	
Déchets activés des réacteurs		$4{,}00 \times 10^{-6}$
^{14}C		
Déchets de structure compactés (CSD-C)	$6{,}00 \times 10^{-7}$	
Déchets activés des réacteurs		$2{,}00 \times 10^{-7}$
^{85}Kr		
Déchets de structure compactés (CSD-C)	$3{,}90 \times 10^{-7}$	

c) Quantification des émissions particulaires

Les émissions en aérosols radioactifs peuvent provenir de la mise en suspension de la contamination surfacique non fixée des colis.

La contamination de surface non fixée retenue est la limite opérationnelle de l'installation qui correspond aux critères d'acceptation des colis dans l'installation. Ces limites sont de 4 $Bq.cm^{-2}$ pour les émetteurs beta/gamma et de 0,4 $Bq.cm^{-2}$ pour les émetteurs alpha.

Dans l'évaluation, elle est considérée équivalente à un dixième de la contamination surfacique des colis primaires reçus (valeur actuellement non dépassée sur les colis primaires déjà produits et entreposés chez les producteurs).

L'activité rejetée est évaluée comme suit :

Activité rejetée = [SextCtS x (Aα + Aβγ) x F1 x F2] × Nombre de colis

Où :

- SextCts : surface externe du colis primaire ;
- Aα : activité surfacique des émetteurs alpha ;
- Aβγ : activité surfacique des émetteurs béta/gamma ;
- F1 : facteur de remise en suspension ;
- F2 : facteur de filtration des filtres THE.

La surface moyenne d'un colis de stockage de type MA-VL est de $1{,}6 \times 10^{5}$ cm^{2}.

Un facteur de mise en suspension des particules radioactives de 1×10^{-5} h^{-1} est considéré dans le calcul d'émission. Ce facteur correspond à une mise en suspension d'origine aéraulique pour une vitesse d'air supérieure ou égale à 1 $m.s^{-1}$ (vitesse de ventilation d'environ 15 m/s). Aucune diminution de facteur ou baisse de la contamination surfacique n'est considérée pour traduire l'appauvrissement de cette contamination sur la durée.

Un facteur de filtration de 1×10^{-3} est retenu pour un niveau de filtration très haute efficacité (THE), qui correspond à l'efficacité minimale requise.

Le bâtiment nucléaire de surface ne peut pas contenir plus de 100 colis de stockage (ce qui correspond à 400 colis primaires environ). L'ensemble des colis de déchets MA-VL stockés en alvéole dans l'installation souterraine contribuant significativement aux émissions gazeuses représente environ 60 000 colis de stockage. Les alvéoles de stockage des colis de déchets HA étant fermés et non ventilés, la contamination surfacique potentielle des colis n'est pas susceptible d'être mise en suspension et entraînée dans un système de ventilation.

d) Les rejets radioactifs atmosphériques issus de l'installation nucléaire de surface

Le nombre de colis présents chaque année dans l'installation nucléaire de surface est considéré égal au nombre maximal de colis pouvant y transiter. Les rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux issus de l'installation nucléaire de surface, située sur la zone descenderie, sont présentés dans le tableau 2-14 ci-après.

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

Tableau 2-14 Rejets radioactifs annuels maximaux de l'installation nucléaire de surface

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

Cheminée de l'installation nucléaire de surface	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux
Émetteurs beta	De l'ordre de 600 Bq/an
Émetteurs alpha	De l'ordre de 60 Bq/an

Les émissions radioactives atmosphériques issues de l'installation souterraine

Les rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux issus de l'installation souterraine, située sur la zone puits, sont présentés dans le tableau 2-15 ci-après.

Tableau 2-15 Rejets radioactifs annuels maximaux de l'installation souterraine

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

2.5.2.2.2 Méthode d'évaluation de la dispersion atmosphérique

L'évaluation de la dispersion des rejets radioactifs dans l'air, et les dépôts dans l'environnement associés, est réalisée par modélisation. Le modèle et le code de dispersion atmosphérique utilisé, ainsi que les hypothèses associées, sont présentés dans les chapitres ci-dessous. L'annexe 2 du volume VI de la présente étude d'impact présente en détail les valeurs de paramètres entrées dans le module Gascon de la plateforme CERES, utilisé pour les calculs.

a) Modèle et code de dispersion atmosphérique utilisés

En fonctionnement normal, la dispersion des rejets émis par voie atmosphérique est évalué sur la base d'un modèle à bouffée gaussienne à l'aide du code de calcul GASCON® (46) de la plateforme CERES® version 6.5.2 (Code d'Évaluations Rapides Environnementales et Sanitaires) (47), développée par le CEA. Ce code permet, à partir d'un rejet émis par voie atmosphérique en fonctionnement normal à débit constant annuel, de déterminer en différents points de l'environnement, la radioactivité moyenne dans l'air ainsi que les dépôts au sol.

Le code de calcul GASCON® permet de modéliser plusieurs sources de rejets atmosphériques simultanées. Chaque rejet est caractérisé par les éléments radioactifs rejetés, leur forme physico-chimique (gazeuse, aérosols, vapeur et organique) qui détermine la vitesse de dépôt et leur activité annuelle en $Bq.an^{-1}$. Il permet d'évaluer pour l'ensemble des points de calcul, la radioactivité volumique dans l'air (en $Bq.m^{-3}$) et la radioactivité surfacique des dépôts (en $Bq.m^{-2}$).

Dans ce code, trois modèles d'évolution des écarts-types sont proposés dans le code : le modèle proposé par Doury et les modèles proposés respectivement par Briggs (1973) (48) et par Pasquill-Turner (1964) (49, 50). Les écarts-types de Pasquill-Turner sont retenus pour les calculs de dispersion atmosphérique du centre de stockage Cigéo comme recommandé par l'AIEA (51).

Le module de calcul GASCON® de la plateforme CERES® (47) est également utilisé pour la réalisation des études d'impact et de danger des installations (INB, INBS et ICPE) du CEA. Contrairement au code de calcul Impact™® d'ARIA technologie, qui modélise uniquement la dispersion atmosphérique, la plate plateforme CERES® permet de modéliser la dispersion atmosphérique et de calculer la dose efficace engagée par l'homme, en tenant compte de l'ensemble des transferts *via* l'environnement.

b) Hypothèses retenues pour la modélisation de la dispersion atmosphérique

Hypothèses associées aux rejets atmosphériques

Les hypothèses retenues pour la modélisation de la dispersion atmosphérique sont les suivantes :

- l'appauvrissement du panache lié à la décroissance radioactive pendant le transfert atmosphérique (les filiations des éléments radioactifs au cours de ce transfert sont établies à l'aide des formules de Bateman) ;
- les calculs de dépôts au sol prennent en compte les dépôts secs et humides sur le sol conduisant à un appauvrissement du panache le long de son parcours ;
- la majorité des particules est filtrée avant rejet, mais la part potentiellement non piégée est prise en compte dans l'évaluation de la dispersion. Il s'agit de particules émettrices alpha qui sont assimilées à du ^{239}Pu et de particules émettrices bêta-gamma qui sont assimilées à du ^{90}Sr. Ces éléments radioactifs sont les plus pénalisants en termes de coefficients de dose à l'homme par inhalation parmi les émetteurs de la même famille. Ils permettent de surestimer les effets sur la santé humaine.

Les caractéristiques des émissaires de rejets (cheminées) sont présentées dans le tableau 2-16 ci-après.

Tableau 2-16 Caractéristiques des émissaires des rejets atmosphériques radioactifs

Paramètres	Unité	Donnée	
		Émissaire de rejet de l'installation souterraine (zone puits)	Émissaire de rejet de l'installation nucléaire de surface EP1 (zone descenderie)
Coordonnées X en L 93	m	875 915,1	872 897,3
Coordonnées Y en L 93	m	6 826 534,4	6 823 213,6
Hauteur par rapport au sol	m	12	30
Température des rejets	°C	20	20
Vitesse des rejets	m/s	De l'ordre de 15	De l'ordre de 15

Dans le cas des dépôts secs, les particules et les gaz se déposent sur les surfaces, par absorption chimique, et par d'autres processus biologiques, chimiques et physiques. Les vitesses de dépôt des différents polluants étudiés permettent de tenir compte de la capacité du sol à retenir les polluants qui s'y déposent. Ces vitesses de dépôts, issues de travaux de recherches, sont restituées dans le tableau 2-17.

Tableau 2-17 Valeurs des paramètres pris en compte pour la modélisation de la dispersion atmosphérique

Élément	Isotope	Forme chimique	Vitesse de dépôt	Période radioactive
			$m.s^{-1}$	an
Tritium	^{3}H	Eau tritiée, vapeur (HTO)	$3{,}00 \times 10^{-3}$	12,3
Carbone 14	^{14}C	$^{14}CO_2$ (gaz)	0	5 700
Krypton 85	^{85}Kr	Gaz	0	10,8
Particules bêta-gamma	^{90}Sr	Particule	$5{,}00 \times 10^{-3}$	28,8

Élément	Isotope	Forme chimique	Vitesse de dépôt	Période radioactive
			m.s^{-1}	an
Particules alpha	^{239}Pu	Particule	5,00 × 10^{-3}	24 130

c) Hypothèses associées aux conditions météorologiques

Les paramètres les plus importants associés aux conditions météorologiques pour la modélisation de la dispersion atmosphérique sont la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la pluviométrie et la stabilité de l'atmosphère.

Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie). C'est pourquoi il est nécessaire de rechercher des chroniques météorologiques :

- suffisamment longues et complètes ;
- représentatives de la climatologie du site.

» RUGOSITÉ

La rugosité est un facteur important en mécanique des fluides, au même titre que la turbulence de l'écoulement (ces deux facteurs pouvant avoir des effets assez proches). La rugosité absolue d'une surface est prise comme la hauteur moyenne de ses aspérités, mesurée depuis le fond d'un creux jusqu'au sommet d'un pic (comme on mesure la hauteur des vagues, ce que les marins appellent le "creux").

L'élaboration des chroniques météorologiques est effectuée en sélectionnant une station météorologique représentative de la zone d'étude. Plusieurs paramètres rentrent en ligne de compte pour le choix de cette station météorologique :

- sa position géographique : la station retenue doit être la plus proche possible des émissaires de rejets et il ne doit pas exister d'obstacle majeur entre la station et l'aire d'étude ;
- la cadence d'acquisition des données météorologiques : Météo-France possède des stations où les mesures sont fournies à pas de temps de 6 minutes à 1 jour. Les données météorologiques suffisamment fines au niveau horaire sont retenues pour avoir une bonne représentativité de la météorologie locale et pour prendre en compte les phénomènes météorologiques diurnes ;
- la pertinence des données météorologiques acquises par rapport au besoin de la modélisation de la dispersion atmosphérique (direction et force du vent, pluviométrie, température).

Les données météorologiques utilisées à la station d'Houdelaincourt sont des mesures relevées toutes les six minutes, sur lesquelles un post-traitement est réalisé afin d'obtenir un fichier météo à une cadence horaire (moyenne sur l'heure). Ces fichiers comportent 5 années de mesures : du 1er juin 2012 au 31 mai 2017. Cette période de cinq ans est conforme aux recommandations en la matière (52). Les résultats d'analyse statistique des données météorologiques sont présentés dans l'annexe 2 du volume VI de l'étude d'impact.

Les variations des conditions de transfert au cours de l'année, moyennées sur une chronique de cinq années, sont prises en compte par la fréquence d'apparition de ces conditions météorologiques sur 18 secteurs de 20°(18 × 20° = 360°) couvrant l'ensemble des directions. Dans l'hypothèse d'une émission continue et à débit constant dans le temps, le calcul est réalisé pour chacune des conditions météorologiques et la radioactivité moyenne annuelle associée aux fréquences d'apparition de ces conditions météorologiques. À partir de cette radioactivité annuelle constante calculée, la concentration intégrée sur le temps est effectuée.

Pour toutes les simulations de dispersion atmosphérique, les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

- une rugosité correspondant à une zone rurale (zones agricoles hétérogènes) ;
- un modèle de dispersion selon les écarts-types de Pasquill (modèle standard adapté pour les sites ruraux) ;
- une surélévation du panache liée à la vitesse d'éjection et à la température des fumées ;
- le calcul des dépôts au sol lié à la chute gravitaire des particules (dépôts secs) et au lessivage du panache par la pluie (dépôts humides) ;
- l'appauvrissement du panache lié à la décroissance radioactive ;
- une maille de calcul de 100 mètres (avec un domaine d'étude de 16 km x 16 km).

Par construction, les données météorologiques sont supposées identiques (direction et vitesse du vent, température…) en tout point du domaine, ce qui donne un champ de vent uniforme horizontalement avec un profil vertical constant dans le temps. La turbulence atmosphérique est considérée homogène. Elle est prise en compte par l'intermédiaire de classes de stabilité, issues de l'analyse des conditions météorologiques. Une analyse statistique des données météorologiques permet de répartir les occurrences horaires en différentes classes de stabilité et ainsi de connaître le pourcentage d'occurrence de chaque classe en fonction de la vitesse du vent (cf. Annexe 2 du volume VI de la présente étude d'impact).

Les écarts types de distribution gaussienne des concentrations dans l'air dépendent de la classe de stabilité atmosphérique. À chaque classe de stabilité est associé un jeu de paramètres permettant de calculer les écarts-types (horizontal et vertical) caractérisant la distribution gaussienne du polluant dans l'air en aval du point de rejet.

Les classes de stabilité de Pasquill varient de A à F de l'atmosphère la plus instable à la plus stable (cf. Figure 2-9).

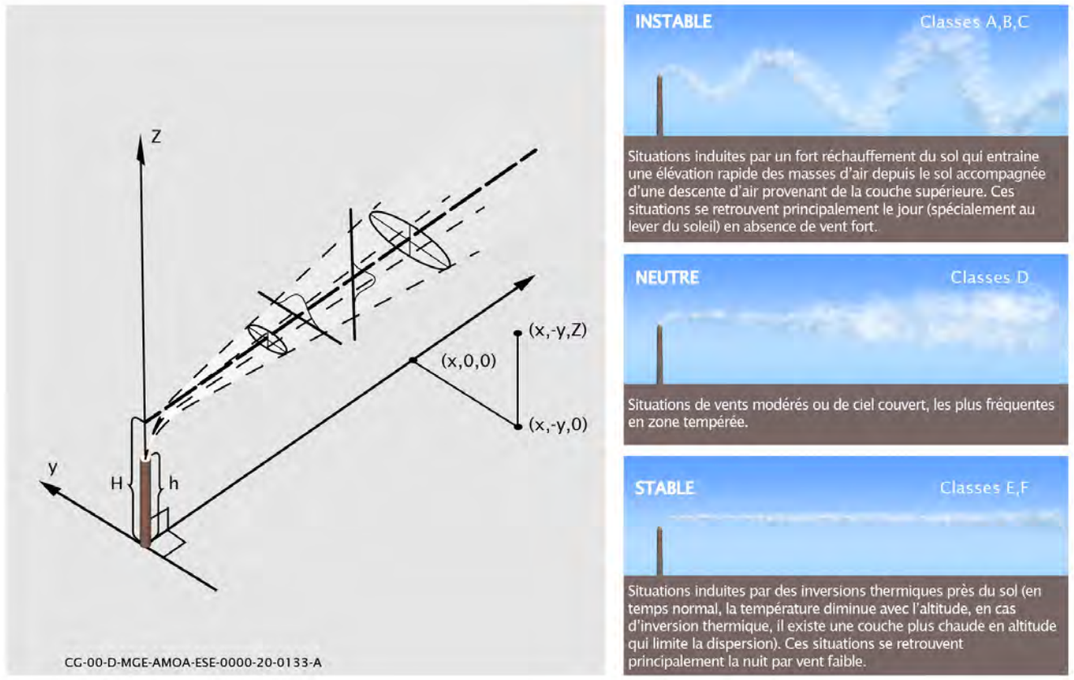


Figure 2-9 Représentation d'une bouffée gaussienne et classes de stabilité

Les unités retenues pour exprimer les concentrations de polluant dans l'air et les dépôts au sol sur les cartes présentées sont :

- pour les concentrations : le Bq.m^{-3} ;
- pour les dépôts au sol (somme des dépôts secs et des dépôts humides) : le Bq.m^{-2}.s^{-1}.

d) Le cas particulier du tritium

La méthodologie générale valable pour la plupart des éléments radioactifs n'est pas applicable pour le tritium en raison de sa mobilité importante, de sa spécificité biologique (présence d'hydrogène en quantité massique dans l'environnement) et de ses changements de formes lors du transfert atmosphérique et dans l'environnement.

L'étude des rejets en tritium a nécessité le développement d'un module spécifique de calculs dans le code de calcul GASCON®. Ce module s'appuie sur les études de Chamberlain (1964) pour la contamination des eaux de pluie lors de la traversée du panache et sur les travaux de Belot et *al.,* 1996 (53) pour la contamination des sols, des végétaux et des animaux (47).

Transfert dans l'atmosphère – Appauvrissement dû au dépôt

Dans l'atmosphère, le tritium est principalement présent sous forme de gaz HT ou d'eau tritiée HTO, lesquels sont soumis à des phénomènes physiques et chimiques spécifiques. Dans l'atmosphère, la transformation chimique de la forme HT en eau tritiée HTO est extrêmement lente. En revanche, au niveau du sol, la forme HT est transformée en HTO par des micro-organismes porteurs de l'enzyme hydrogénase. Par la suite, une partie de l'HTO contenue dans le sol est réémise vers l'atmosphère par évaporation. Le reste percole dans le sol.

Dans le cas de la forme HT, la dispersion atmosphérique est calculée de la même façon que pour les vapeurs par temps sec quelles que soient les conditions météorologiques. En effet, la forme HT se dépose au sol et il y a oxydation au sol de HT en HTO qui ne se réémet pas complètement dans l'atmosphère. En revanche, du fait de sa faible solubilité dans l'eau, la forme HT n'est pas entraînée par la pluie.

Dans le cas de la forme HTO, par temps sec, on considère que le nuage n'est pas appauvri car il y a réémission d'une partie de l'eau tritiée HTO déposée au sol dans l'atmosphère. La dispersion atmosphérique est donc analogue à celle évaluée pour les gaz. Par temps de pluie, comme l'eau tritiée HTO a une forte affinité pour les gouttes d'eau, la dispersion atmosphérique prend en compte un appauvrissement évalué à partir des relations de Chamberlain.

Dans les calculs, la moitié de l'activité déposée en amont du point considéré sous forme HT ou HTO est supposée réémise sous forme HTO et réattribuée comme émission.

Dépôt sec de HT et HTO

Dès que de l'hydrogène tritié (HT) touche la surface du sol, il s'y dépose à une vitesse similaire à une vitesse de dépôt sec. Sur la plupart des types de sols, la vitesse de dépôt sec de l'hydrogène tritié est indépendante du temps de contact. Pour un type de sol donné, la vitesse de dépôt est faible si le sol est sec, augmente avec l'humidité et retombe à des valeurs très basses si le sol est gorgé d'eau. On retient une valeur de dépôt sec de 3×10^{-3} $m.s^{-1}$.

Comme l'hydrogène tritié HT, la vapeur d'eau tritiée HTO peut être absorbée à la surface du sol à une vitesse de dépôt sec spécifique. La vitesse de dépôt sec de la vapeur d'eau tritiée dépend de l'état de surface du sol (présence d'un couvert végétal, sol nu...) et des conditions climatiques. Selon Belot, la valeur serait comprise entre 10^{-3} $m.s^{-1}$ et 10^{-2} $m.s^{-1}$.

Les expériences ont montré que la vitesse de dépôt sec est d'autant plus faible que :

- le sol est recouvert de végétaux qui apportent une résistance au transfert de la vapeur d'eau ;
- la surface du sol présente une couche superficielle sèche, par exemple en été, après quelques jours sans pluie sur un sol découvert.

On retient pour l'HTO une vitesse de dépôt sec de 3×10^{-3} $m.s^{-1}$, qui constitue l'ordre de grandeur du phénomène et est raisonnablement pessimiste. Cette vitesse est probablement surestimée car elle diminue peu à peu lorsque l'exposition se prolonge.

Dépôt humide de HT et HTO

Le dépôt humide correspond à l'entraînement du tritium par les précipitations. En raison de sa faible solubilité, l'hydrogène tritié HT est peu entraîné par la pluie. Sa vitesse de dépôt par temps de pluie est nulle. Au contraire, la vapeur d'eau tritiée HTO présente une forte similitude avec l'eau légère et est facilement captée par les gouttes. La vitesse de dépôt de l'eau tritiée par temps de pluie est évaluée à partir du débit de dépôt au sol de l'eau tritiée.

Le tritium organiquement lié (OBT) est pris en compte dans la modélisation de l'exposition par ingestion de végétaux. En effet, l'activité en tritium d'un végétal est contenue non seulement dans son eau, mais aussi dans sa matière organique sèche.

3

Sols - Méthodes

3.1	Géomorphologie	54
3.2	Occupation du sol	54
3.3	Pédologie	54
3.4	Analyse des incidences sur le sol	56

3.1 Géomorphologie

Les analyses géomorphologiques sont menées à partir des cartes topographiques de l'IGN, ainsi que de visites sur le terrain.

Toutes les altitudes sont exprimées à partir du nivellement général de la France 69 (NGF) qui est actuellement le réseau de nivellement officiel en France métropolitaine (hors Corse) entretenu par l'IGN.

Le nivellement est une technique susceptible de fournir des éléments chiffrés pour traduire le relief. Pour atteindre ce but, une méthode consiste à déterminer avec précision l'altitude d'un certain nombre de points appelés repères de nivellement. Plus de 450 000 repères altimétriques sont disséminés sur le territoire français métropolitain continental.

Les techniques de nivellement ont existé dès la plus haute antiquité mais les premiers traités de nivellement en langue française datent seulement du dix-septième siècle. La théorie du nivellement est fondée sur la notion de surface de niveau. Les surfaces de niveau sont des surfaces normales en chacun de leurs points à la direction du fil à plomb et sur lesquelles, par suite, un déplacement quelconque s'effectue sans travail de la pesanteur. Par chaque point du globe, il passe une surface de niveau et une seule. On appelle alors différence de niveau de deux points, ou dénivelée, la distance de l'un de ces points à la surface de niveau qui passe par le second. L'idée la plus claire des surfaces de niveau nous est donnée par l'état de repos d'un liquide libre à sa partie supérieure. Un étang, un lac, quand ils sont parfaitement tranquilles, nous offrent de véritables surfaces de niveau…

La mer est considérée, dès le dix-septième siècle, comme la surface de niveau pouvant servir de référence aux opérations de nivellement, mais pour des raisons pratiques, elle est encore très peu utilisée. Quand les travaux sont éloignés du littoral, il est alors d'usage de fixer un plan de comparaison local. Par exemple, l'abbé Jean Picard, chargé par Louis XIV d'étudier les possibilités de réalisation d'un aqueduc permettant d'amener l'eau de la Loire au château de Versailles, choisit d'exprimer les cotes issues de ses nivellements par rapport au rez-de-chaussée de la demeure royale. Les discordances générées par la multiplication de tels nivellements locaux ou régionaux, rapportés à des surfaces de comparaison différentes, sont source de constantes confusions. Avec la généralisation des chantiers de grande envergure (routes, canaux, puis plus tard voies ferrées), des besoins d'unification commencent à se faire sentir. Dans le même temps, il apparaît utile d'établir des témoins matériels des opérations de nivellement géométriques, sur lesquels pourront se rattacher toutes les opérations ultérieures. Ces points sont baptisés repères de nivellement.

Les opérations du nivellement général de la France débutent le 29 septembre 1857 par Paul Adrien Bourdalouë. L'origine du réseau interne de la France continentale est déterminée à l'issue d'observations réalisées au marégraphe de Marseille du 1er février 1885 au 1er janvier 1897.

3.2 Occupation du sol

La description de l'occupation des sols est fondée sur la cartographie Corine Land Cover (CLC) 2018 (19).

La base de données géographiques Corine Land Cover est produite sur 39 États européens, dans le cadre du programme européen de surveillance des terres de Copernicus, piloté par l'Agence européenne pour l'environnement. Le producteur pour la France est le service de la donnée et des études statistiques du ministère chargé de l'écologie, avec depuis 2018, l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). Cet inventaire fournit une photographie complète de l'occupation des sols, à des fréquences régulières : 1990, 2000, 2006, 2012 et 2018.

Corine Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution selon une nomenclature en 44 postes répartis selon cinq grands types d'occupation du territoire :

- territoires artificialisés ;
- territoires agricoles ;
- forêts et milieux semi-naturels ;
- zones humides ;
- surfaces en eau.

Cet inventaire est produit par interprétation visuelle d'images satellite. L'échelle de production est le 1/100 000. Corine Land Cover permet de cartographier des unités homogènes d'occupation des sols d'une surface minimale de 25 ha.

3.3 Pédologie

3.3.1 Carte pédologique

La diversité et la distribution des sols sur un territoire sont représentées sous forme de données cartographiques.

Sur les aires d'étude considérées dans l'étude d'impact du projet global Cigéo, deux cartes des sols à des échelles différentes ont été utilisées :

- le Référentiel régional pédologique (RRP) du Grand Est à l'échelle du 1/250 000 (16), produit du programme national IGCS (Inventaire, gestion et conservation des sols), mis à disposition par le Groupement d'intérêt Scientifique sur les sols (Gis Sol) et consultable depuis début 2020 sur Géoportail[2]. Ce référentiel est utilisé pour décrire les grands types de sols présents sur l'aire d'étude éloignée du milieu physique ;
- une carte pédologique au 1/50 000 réalisée par l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) en 2019 sur une zone plus petite, d'environ 320 km², mais plus précise que le RRP du Grand Est. Cette carte est utilisée pour établir l'état initial ainsi que pour déterminer les incidences des installations de surface du projet global Cigéo sur l'aire d'étude immédiate pour certaines thématiques où la nature des sols est importante, telles que les activités agricoles et sylvicoles.

La collecte des informations nécessaires à l'établissement d'une carte des sols sur un secteur donné se fait généralement en plusieurs étapes :

- synthèse des études et des données existantes : géologie, topographie, pédologie, etc. ;
- acquisition de nouvelles données sur le terrain par des sondages et des fosses pédologiques ;
- synthèse des données recueillies et digitalisation des tracés des unités de sol sous système d'information géographique (SIG) ;
- constitution des bases de données.

Dans un premier temps, des reconnaissances basées sur la géologie et la topographie permettent d'estimer la distribution des différents types de sols dans le paysage. Puis, cette estimation est complétée par une prospection systématique de terrain déterminée en fonction du contexte (matériau parental, topographie, état de surface du sol, utilisation du sol, végétation) et non pas selon un maillage prédéfini. Les observations de terrain sont réalisées par des sondages à la tarière et par la description de fosses pédologiques. Les sondages à la tarière permettent d'observer : la profondeur du sol et de chaque horizon, leur texture, la présence/absence d'hydromorphie, la présence de carbonates et la distribution de la matière organique. Les fosses pédologiques permettent de faire une observation complète du sol, en particulier de décrire les caractéristiques de chaque horizon : texture, structure, réaction à HCl, propriétés mécaniques, humidité, couleur, tâches, revêtements, traces d'activités, présence de nodules, racines, éléments grossiers, porosité et conduits de vers de terre. Des analyses

[2] https://www.geoportail.gouv.fr/

physico-chimiques des échantillons de sols prélevés lors de ces observations de terrain aident également à l'identification des différents types de sols rencontrés.

À partir des données ponctuelles de terrain, les contours de chaque zone plus ou moins homogène, correspondant à une unité cartographique de sol (UCS), sont dessinés et digitalisés à l'aide d'un logiciel de SIG à partir des cartes topographiques et géologiques. Les unités cartographiques de sols sont donc le plus souvent constituées de plusieurs unités typologiques de sols.

Les unités typologiques de sols (UTS = les différents « types de sols ») sont définies avec un plus ou moins grand degré de détail à partir de l'ensemble des observations et mesures faites sur le terrain ou au laboratoire. Cette définition prend en compte tous les horizons superposés et, pour chaque horizon, toute une série de caractères élémentaires (texture, structure, teneurs en calcaire ou en carbone, éléments grossiers, épaisseur, etc.). La définition d'une unité typologique résulte donc d'une action de « classification », c'est-à-dire une mise en ordre ou un arrangement d'objets dans notre esprit et leur distribution dans des compartiments, selon l'usage que l'on veut en faire. Chaque unité est dénommée selon la classification du Référentiel pédologique français (RPF).

3.3.2 Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols

Un état de référence de la qualité des sols a été réalisé par l'OPE entre 2009 et 2013 sur une zone d'environ 240 km², avec différents partenaires de l'INRA, de l'INPL/ENSAIA (Institut national polytechnique de Loraine/École nationale supérieure d'ingénieurs agronomes et industries alimentaires) et du CNRS. Cet état de référence a permis de déterminer les caractéristiques actuelles des sols de l'aire d'étude rapprochée. Il repose sur un réseau systématique de sites d'échantillonnage répartis suivant une grille régulière de 1,5 km.

Les sols ont été échantillonnés selon un protocole de prélèvement et de traitement défini par le GIS Sol (Groupement d'intérêt scientifique sur les sols) dans le cadre du Réseau national de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS) qui repose sur le suivi de 2 200 sites répartis uniformément sur le territoire français selon un maillage carré de 16 km de côté. Les sites de prélèvement dans l'aire d'étude rapprochée ont été choisis selon un maillage plus fin, de 1,5 km de côté, adapté à l'échelle du territoire, et ont été complétés en 2013 par des sites choisis aléatoirement ou choisis pour leur typologie particulière. Au total, 146 sites ont été échantillonnés.

L'état initial de la qualité des sols porte sur les caractéristiques physico-chimiques, les teneurs en contaminants organiques et minéraux, ainsi que sur la diversité microbienne et de la mésofaune (taille intermédiaire entre la microfaune et le macrofaune, tel que des insectes et des petites araignées) du sol.

3.3.3 Caractéristiques radiologiques des sols

Différentes mesures de radioactivité ont été réalisées par le laboratoire Subatech entre 2007 et 2009 et par l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) entre 2010 et 2013.

Les critères qui ont présidé aux choix des sites de prélèvements des sols sont les paramètres susceptibles d'influencer les activités des éléments radioactifs naturels et artificiels, à savoir :

- la nature de la roche sous-jacente, (source des radionucléides d'origine tellurique 40K, 238U et descendants) ;
- la nature de la végétation, qui influence le dépôt des aérosols.

Les prélèvements de sols ont été effectués, en collaboration avec l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, sur différentes roches mères, représentatives du substrat géologique sous-jacent et des différents types d'occupation du sol (cultures, prairies et forêts). Les échantillons ont été prélevés à des profondeurs variables selon les sites (de la surface à 60 cm de profondeur).

C'est donc en tenant compte de la variabilité de l'occupation du sol et de la nature du sous-sol qu'ont été retenus dix sites de prélèvements (cinq sites en forêt, trois sites en prairie et deux sites en cultures).

L'ensemble des échantillons de sols a fait l'objet d'analyses par spectrométrie gamma. En fonction des activités en ^{137}Cs mesurées par cette technique, 24 échantillons ont été choisis dans le but de mesurer l'activité en ^{90}Sr, en isotopes du plutonium et en ^{241}Am (spectrométrie alpha).

Par ailleurs, 13 échantillons ont fait l'objet de mesures très précises de l'activité des isotopes de l'uranium, du thorium et du ^{226}Ra par Spectrométrie de Masse à Thermo-Ionisation (TIMS) réalisées au Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de l'Université de Strasbourg.

3.3.4 Sites et sols pollués ou potentiellement pollués

Le risque de pollution lié à des sites industriels a été évalué à partir du recensement des sites et sols pollués.

Ce recensement a été réalisé à partir de l'Inventaire historique des sites industriels et activités de service (Basias) *via* le site internet[3], de la base Géorisque *via* le site internet[4] et de la base Basol du ministère de la Transition écologique et Solidaire, *via* le site internet[5].

La base de données BASIAS (base des anciens sites industriels et activités de service en activité ou non) fait l'inventaire de tous les sites industriels ou de services, anciens ou actuels, ayant eu une activité potentiellement polluante. Cette base de données est développée par le BRGM pour le ministère de de la Transition écologique et solidaire.

Le site BASOL est une base de données sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. Le recensement est réalisé par la préfecture et la DREAL (Direction régionale de l'aménagement, de l'environnement et du logement).

Les secteurs d'information sur les sols (SIS) sont les terrains où l'État a connaissance d'une pollution des sols justifiant, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et la mise en place de mesures de gestion de la pollution pour préserver la santé et l'environnement. La démarche SIS poursuit deux objectifs : améliorer l'information du public et garantir l'absence de risque sanitaire et environnemental par l'encadrement des constructions. Les SIS ont été recensés à partir des informations cartographiques du site Géorisques[6].

[3] http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inventaire-historique-des-sites-industriels-et-activites-de-service-basias#/
[4] http://www.georisques.gouv.fr/
[5] https://basias.brgm.fr/
[6] https://basias.brgm.fr/

3.4 Analyse des incidences sur le sol

L'analyse des incidences sur le sol repose sur les études de conception :

- les principes de conception des terrassements ;
- les carnets de gestion et de valorisation des terres ;
- les principes de gestion des terres végétales.

La démarche d'évaluation consiste à caractériser les sources d'impact sur le sol (direct et indirect) et leurs effets potentiels, notamment la modification de la nature et de la structure du sol, la vulnérabilité des terrains mis à nu vis-à-vis des risques d'érosion, du lessivage et des risques de pollution, ainsi que des modifications liées aux aménagements de surface (imperméabilisation).

Les choix de conception sont développés pour préciser les optimisations des modelés de nivellement, la gestion des matériaux terreux, leur mise en œuvre et la préservation de la qualité des sols (enrichissement).

Quant à l'impact radiologique, sa quantification repose sur le calcul avec CERES [7] (cf. Chapitre 2 du présent volume de l'étude d'impact) de l'activité déposée sur le sol au point récepteur le plus pénalisant et de la comparaison de l'activité massique par groupe de radionucléides après 1 an, 50 ans et 150 ans de rejets atmosphériques avec l'état initial.

[7] CERES (code d'évaluations rapides environnementales et sanitaires) : logiciel de modélisation des impacts radioactifs sur l'homme, développé par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

4

Sous-sol - Méthodes

4.1 État initial 58
4.2 Incidences 59

4.1 État initial

4.1.1 Milieu géologique du secteur de Meuse/Haute-Marne : tectonique et stratigraphie

L'acquisition des connaissances sur le milieu géologique du secteur de Meuse/Haute-Marne s'est organisée autour de plusieurs démarches qui ont permis d'acquérir une compréhension fine de l'environnement et du milieu géologique dans lequel vient s'implanter le centre de stockage Cigéo, en complément d'informations bibliographiques et cartographiques.

Plus d'une quarantaine de forages profonds de plusieurs centaines de mètres accompagnés de carottages ont été réalisés depuis les années 90 et ont confirmé la géométrie, l'épaisseur et les propriétés des formations géologiques composant le sous-sol et plus particulièrement la couche du Callovo-Oxfordien ainsi que l'absence de faille. 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 (par exemple : essais de lixiviation, mesure par porosimétrie mercure…) ou bien établies scientifiquement (par exemple : 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 à grande échelle des traceurs naturels (incluant des isotopes).

Ces opérations ont permis de préciser la géométrie des couches composant le sous-sol, de confirmer l'homogénéité de la couche d'argilites du Callovo-Oxfordien et l'absence de faille au sein de celle-ci et d'approfondir les connaissances sur le comportement géomécanique des argilites.

Différentes campagnes sismiques 2D (1994-1996) et 3D en 2000 (4 km^2 sur l'emprise du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne) et 2008-2010 (37 km^2 sur l'emprise de la ZIRA) sur le site ont permis de préciser l'organisation des couches géologiques et caractériser leur géométrie (épaisseur, profondeur, extension, pendage…). Elles ont successivement permis d'obtenir une image haute-résolution en volume du sous-sol et de 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 (d'un rejet supérieur à 2–4 mètres) n'est présente ni dans la couche du Callovo-Oxfordien, ni dans les formations sous-jacentes et sus-jacents à l'aplomb de la ZIRA.

Des études de terrains ont permis d'observer les formations à l'affleurement, d'appréhender les grands traits de l'environnement géologique, de prélever des échantillons et de disposer des données à intégrer dans les modèles.

Ces études ont été complétées par des études géotechniques de type G2 sur la zone descenderie et G1 EDS sur l'installation terminale embranchée, Ces études géotechniques ont eu pour but d'analyser la structure du sol et du sous-sol afin d'adapter les dispositions constructives à la réalité précise de la zone d'intervention potentielle. Des campagnes G1 et G2 seront réalisées ultérieurement sur le reste de la zone d'intervention potentielle. Ces études géotechniques respectent la norme NF P 94-500 de 2013 (54) qui définit notamment le niveau d'investigation selon l'avancement du projet.

De nombreuses investigations et expérimentations scientifiques sont réalisées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne afin de quantifier 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 mi 2019, 1 680 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 à partir d'août 2000, les relevés continus de toutes les formations traversées 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 naturelle et d'en évaluer l'incidence sur les circulations de fluides. Les données obtenues au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne 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.

Chaque échantillon prélevé est référencé dans une base de données (GEO) qui liste le type de mesures réalisées sur celui-ci et les résultats d'analyse. Au total, à mi 2021, plus 70 000 échantillons solides et 14 000 échantillons de fluides ont été collectés.

4.1.2 Caractéristiques radiologiques du sous-sol

Compte-tenu des différentes couches géologiques (marnes du Kimméridgien, calcaires de l'Oxfordien et argilites du Callovo-Oxfordien) traversées par le projet, des échantillons de roche, prélevés lors de campagnes de forage entre 1994 et 2008, à des profondeurs comprises entre une dizaine de mètres sous le sol et un peu plus de 600 mètres, et représentatifs de ces différentes couches, ont été analysés.

Des échantillons de verses correspondant au matériau extrait de la couche d'argilite du Callovo-Oxfordien lors du creusement des galeries souterraines du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, ont également été étudiés.

Les mesures sur les prélèvements effectués ont été réalisées par le laboratoire de métrologie de la radioactivité dans l'environnement (LMRE) de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Les éléments radioactifs naturels et artificiels ont été mesurés en spectrométrie gamma et alpha. Les isotopes de l'uranium et du thorium, ainsi que de leurs descendants ont été également été mesurés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) après traitement radiochimique des échantillons.

4.1.3 Caractéristiques radiologiques des eaux porales

Un échantillon d'eau a été prélevé au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne dans le forage GIS1002. Les mesures sur le prélèvement effectué ont été réalisées par comptage alpha et béta selon la norme NF EN ISO 10704 de 2019 (44) et la circulaire DGS/EA4/2007/232 (55) par le laboratoire SUBATECH/SMART accrédité pour ces mesures.

4.1.4 Ressources naturelles potentielles du sous-sol

Les ressources naturelles du sous-sol définies dans le code minier incluent les matériaux de carrières, les substances minérales, le charbon, les hydrocarbures et les ressources géothermiques. Elles ont été recensées dans le « Tome II du référentiel de site – Bilan des observations de l'OPE sur l'état de l'environnement de surface » (56).

Le recensement se base également sur la consultation des documents suivants :

- les dossiers départementaux des risques majeurs (DDRM) de la Meuse (2019) et de la Haute-Marne (2017) pour les ressources en matériaux (9, 10) ;
- la banque de données du sous-sol (BSS) du BRGM pour les ressources en matériaux et la géothermie ;
- les données géologiques et géophysiques d'exploration pétrolière des années 50 à 80,ainsi que les campagnes sismiques 3D haute résolution sur la zone, couplées aux données des campagnes de reconnaissance géologique menées par l'Andra depuis environ 30 ans (forages, campagnes sismiques et géophysique…) ;
- les données d'un forage de reconnaissance du potentiel géothermique de la future zone d'implantation du centre de stockage Cigéo réalisé en 2007-2008 (forage EST 433).

4.1.5 Risques naturels liés à la géologie

Le recensement des risques naturels liés à la géologie a été réalisé grâce à la consultation des documents suivants :

- les dossiers départementaux des risques majeurs (DDRM) de la Meuse (2019) et de la Haute-Marne (2017) (9, 10) ;
- le site internet Géorisques qui répertorie tous les risques naturels et technologiques en France.

Le risque sismique a été étudié grâce :

- au zonage sismique français en vigueur depuis le 1er mai 2011 défini par l'article D. 563-8-1 du code de l'environnement ;
- aux publications scientifiques sur la tectonique européenne ;
- aux chroniques historiques des tremblements de terre et les catalogues de sismicité ;
- aux campagnes de forages et études sismiques réalisées pour l'Andra ;
- aux études portant sur la sismotectonique et la géodynamique interne du Bassin parisien oriental réalisées pour l'Andra ;
- à la caractérisation statique et dynamique de l'ensemble des failles du secteur ;
- aux réseaux d'écoute sismique (RES et ACC, couplés aux réseaux nationaux (RSN, RENASS)) décrits au volume III de la présente étude d'impact.

4.2 Incidences

La démarche consiste à caractériser les sources d'impacts sur le sous-sol (direct et indirect) et leurs effets potentiels :

- la pollution physico-chimique et contamination radiologique ;
- la vulnérabilité aux risques sismiques d'origine naturelle ou anthropique ;
- la vulnérabilité aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et risque de tassements suite à l'effondrement des galeries se répercutant sur les couches au-dessus et aggravation des risques de mouvements de terrain ;
- les incidences sur les ressources du sous-sol par stérilisation des ressources souterraines au droit du stockage et utilisation de quantités importantes de matériaux de construction.

4.2.1 Pollution accidentelle physico-chimique

L'analyse des incidences est réalisée en prenant en compte :

- la nature et les quantités de substances physicochimiques susceptibles de se répandre. Il est tenu compte de la nature des sols ;
- la nature du sous-sol est également analysée (les Calcaires du Barrois qui affleurent sous et autour du centre de stockage Cigéo laissent plus facilement les polluants s'infiltrer en profondeur du fait de la karstification) ;
- les mesures d'évitement et de réduction présentées dans le chapitre 3 du présent volume qui permettent la gestion des pollutions accidentelles physico-chimiques sur les sols ;
- les mesures d'évitement et de réduction présentées dans le chapitre 5 du présent volume qui permettent la gestion des pollutions accidentelles physico-chimiques sur les eaux.

Ces éventuelles pollutions accidentelles restent très superficielles et ponctuelles (les quantités de polluants pouvant se répandre sont limitées).

4.2.2 Confinement des radionucléides et substances toxiques chimiques

La minimisation de l'incidence de la présence du stockage de déchets radioactifs dans la couche du Callovo-Oxfordien sur le site de Meuse/Haute-Marne constitue un élément clé dans la recherche de solutions qui a été intégré dès le démarrage du projet *via* des itérations sureté/conception/connaissances scientifiques et technologiques périodiques permettant de vérifier la performance du milieu géologique d'implantation du stockage et des composants ouvragés du stockage mis en place.

La protection de l'homme et l'environnement à long terme repose sur la couche du Callovo-Oxfordien, qui joue un rôle central de cette protection, complétée par des dispositifs ouvragés comme les ouvrages de fermeture des liaisons surface-fond (puits et descenderies) et les conditionnements colis des déchets.

La démarche globale retenue pour l'évaluation de sûreté après fermeture repose sur une déclinaison des fonctions de sûreté et des exigences associées.

Les incidences sont évaluées dès le début de la conception du stockage puis vérifiées tout au long de son développement progressif afin de mettre en place les mesures nécessaires pour réduire ces incidences et maitriser celles résiduelles. Il s'agit notamment de préserver les propriétés favorables de la couche du Callovo-Oxfordien, mais aussi de tirer parti de ces dernières, vis-à-vis du relâchement et de la migration des radionucléides et substances chimiques toxiques.

L'évaluation des incidences une fois le stockage fermé définitivement (cf. Chapitre 18 du présent volume) se fonde en dans un premier temps sur l'état de connaissances du comportement du stockage et de la couche de Callovo-Oxfordien dans le temps et des incertitudes résiduelles associées. Dans ce cadre, une analyse des risques est réalisée, qui permet d'identfier les phénomènes pouvant affecter la réalisation d'une fonction de sûreté et les performances qui lui sont affectées (séisme, érosion, ...), d'en analyser les causes et de définir les modalités de gestion de cs risques. Ceci conduit à définir dans un second temps à quantifier les incidences dans le cas de différents scénarios représentant différentes évolutions du stockage sur le long terme :

- un scénario qui vise à représenter l'évolution normale du stockage à long terme une fois fermé définitivement, en se fondant sur les fonctions de sûreté attendues, et au mieux de l'état de la connaissance scientifique et technologique en lien avec la conception retenue ;
- des scénarios qui permettent de couvrir différentes déviations de cette évolution normale en prenant en compte d'éventuels aléas internes et externes au stockage ainsi que les risques d'intrusion humaine.

Pour chaque scénario, les performances des composants du système de stockage, en incluant les mesures de conception retenues, sont évaluées ainsi que l'incidence sur l'homme en termes d'exposition. Cette analyse permet de confirmer la robustesse du système de stockage et de vérifier l'efficacité des dispositions de conception prises pour gérer les incertitudes, afin de ;s'assurer que la protection de l'homme et l'environnement est assurée pour l'ensemble des scénarios d'évolution du stockage.

4.2.3 Vulnérabilité au risque sismique d'origine naturelle et anthropique

Le choix du secteur d'implantation du centre de stockage Cigéo a été le résultat de plusieurs décennies de recherches pour garantir la sûreté à long terme du stockage. C'est un long processus décisionnel qui a permis de choisir, dans un premier temps, le stockage dans les argiles, puis, dans un second temps, de préciser la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) dans une zone géologique d'activité sismique très faible.

Les nombreuses campagnes d'investigations géologiques, complétées par l'étude des données de la littérature scientifique ouverte, ont permis de délimiter, à l'écart des zones de failles géologiques identifiées, une région très stable d'environ 250 km² nommée zone de transposition (ZT).

Ensuite, à partir de 2009, les investigations géologiques ont permis de caractériser plus finement une zone plus restreinte, dénommée « zone d'intérêt pour la recherche approfondie » (ZIRA) d'environ 30 km^2. Cette campagne a permis de confirmer l'absence de structure (faille présentant un rejet supérieur à 2-4 m) sur la ZIRA, aussi bien

que dans le Callovo-Oxfordien et ses encaissants (Dogger, Oxfordien carbonaté et Kimméridgien) que plus largement sur l'ensemble de la pile sédimentaire mésozoïque.

À partir de 2011, les études de la conception industrielle du centre de stockage Cigéo (études d'avant-projet) ont notamment visé l'implantation des ouvrages de stockage de façon optimale au sein de la couche de Callovo-Oxfordien de la ZIRA. La ZIOS, zone d'implantation des ouvrages souterrains, constitue donc l'emprise souterraine de la ZIRA.

Le centre de stockage Cigéo est construit, conçu et exploité, conformément aux règles spécifiques applicables aux installations nucléaires, de sorte qu'en cas de séisme, les installations soient maintenues dans un état dit « sûr » et que ce phénomène n'entraîne pas de conséquence sur l'homme et l'environnement. Cette approche est par ailleurs complétée par une prise en compte spécifique du séisme en après-fermeture dans le cadre de l'analyse des risques décrite dans le présent chapitre.

4.2.4 Risque de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements

L'analyse est basée sur le recensement des risques et l'adéquation des dispositions constructives mises en place au regard des risques.

4.2.5 Ressources du sous-sol

Le centre de stockage Cigéo est implanté dans une zone ne présentant pas un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines.

Concernant les besoins en matériaux, l'analyse est réalisée sur une première estimation des besoins en matériaux de construction au regard des filières d'approvisionnement disponibles de ces ressources.

L'identification des carrières de granulats a été réalisée grâce à un fichier transmis par la DREAL Grand Est (source BRGM - Bureau de recherches géologiques et minières). Ces informations ont été vérifiées et complétées à l'aide de la base de données sur les installations classées du ministère de la transition écologique.

L'adéquation entre les besoins en ciment pour le projet global Cigéo et les ressources disponibles a été réalisée par comparaison à la production annuelle du ciment de la région Grand Est.

5

5. Eaux - Méthodes

5.1 Définition de l'état initial 62
5.2 Évaluation des incidences 82

5.1 Définition de l'état initial

La détermination de l'état des masses d'eau superficielles ou souterraines nécessite des données d'observations. Dans le cadre de la présente étude d'impact les données d'observations mobilisées sont soit issues de base de données publiques, soit du réseau d'observation mis en place par l'Andra. La figure 5-1 présente de manière synthétique les stations de suivi des eaux superficielles et souterraines par l'Andra dans l'aire d'étude éloignée.

L'état d'une masse d'eau superficielle est déterminé selon deux aspects : son état écologique et son état chimique.

L'état écologique requiert la prise en compte de l'ensemble des compartiments écologiques : eau, faune, flore, habitat. Ainsi le bon état écologique requiert non seulement une bonne qualité de l'eau, mais aussi un bon fonctionnement des milieux aquatiques. L'état (ou le potentiel) écologique est évalué à partir d'éléments de qualité biologiques animaux (poissons, invertébrés) et végétaux (plantes aquatiques…), physico-chimiques (phosphore, nitrate, pH…) et hydromorphologiques (état des berges ou de la côte, continuité de la rivière, régime des marées…).

L'état chimique d'une masse d'eau de surface est évalué en mesurant la concentration d'environ quarante substances chimiques d'origine anthropique fixées au niveau européen (dont des métaux lourds : cadmium, mercure, nickel… ; des pesticides : atrazine, alachlore… ; des polluants industriels : benzène, HAP…) dans le milieu aquatique.

Deux indicateurs sont également mobilisés pour déterminer l'état des eaux souterraines : leur état quantitatif et leur état chimique.

La méthodologie d'acquisition de ces différents indicateurs est présentée dans la suite de ce chapitre ainsi que les étapes préalables d'identification et de description des différentes masses d'eau concernées.

5.1.1 Réglementation et exigences

La politique de l'eau en France est fondée sur quatre grandes lois et encadrée par la directive-cadre européenne sur l'eau publiée en 2000. Ce texte définit la notion de « bon état des eaux », vers lequel doivent tendre tous les États membres, dont la France.

La loi de 2004 (57) a transposé la directive-cadre sur l'eau prise par l'Europe en 2000 (58) et orientant toute la politique de l'eau vers des objectifs de résultat, parmi lesquels l'atteinte du bon état des eaux à l'horizon 2015. Elle fixe dans un plan de gestion, **les SDAGE**, des objectifs ambitieux pour la préservation et la restauration de l'eau et des milieux aquatiques, mis en œuvre par un programme de mesures.

La directive-cadre donne la priorité à la protection de l'environnement et à une utilisation durable de l'eau, en demandant de veiller à la non-dégradation de la qualité des eaux. L'objectif est d'atteindre d'ici 2015 un bon état général tant pour les eaux souterraines que pour les eaux superficielles, y compris les eaux estuariennes et côtières. Si cette échéance ne peut être atteinte dans les délais, il est possible de demander une dérogation pour repousser l'échéance à 2021 voire 2027.

En application de la directive-cadre, une première liste de 33 substances a été adoptée en 2011. Elle comprend des métaux, des pesticides, des hydrocarbures (décision n° 2455/2001/CE du 20 novembre 2001 (59)), complétée par une directive (2008/105/CE (60)) qui fixe des normes de qualité environnementale, applicables à 8 autres produits.

L'aire d'étude du projet global Cigéo est concerné par deux SDAGES : SDAGE Seine-Normandie 2022-2027 et Rhin-Meuse 2022-2027. Ces documents sont les principales sources de données publiques pour décrire l'état initial des masses d'eau concernées par le projet global Cigéo et les objectifs à atteindre.

Un inventaire des règlementations et des exigences complémentaires (SAGE, PPRI…) a été réalisé sur toutes les communes circonscrites dans l'aire d'étude éloignée définie pour la thématique eau du projet global Cigéo et dans l'aire d'étude spécifique de la ligne 400 kV.

Parmi les exigences règlementaires potentielles se trouve celle des zones de répartition des eaux (ZRE), levier pour l'État permettant d'assurer une gestion plus fine des demandes de prélèvements dans une ressource en eau souterraine, grâce à un abaissement des seuils de déclaration et d'autorisation de prélèvements.

Elle souligne un déséquilibre durable entre la ressource et les besoins en eau. Elle suppose au préalable à la délivrance de nouvelles autorisations, l'engagement d'une démarche d'évaluation précise du déficit constaté, de sa répartition spatiale et si nécessaire de sa réduction en concertation avec les différents usagers, dans un souci d'équité et un objectif de restauration d'un équilibre. Une zone de répartition des eaux est définie dans un arrêté préfectoral.

En novembre 2019, l'Andra a vérifié la cartographie des zones de répartition des eaux sur le site Internet SIGES Seine-Normandie (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie). Il n'existait pas de ZRE dans l'aire d'étude éloignée du projet global Cigéo. Un travail similaire a été entrepris en avril 2020 pour le SDAGE Rhin-Meuse et il n'existait pas de ZRE dans l'aire d'étude de la ligne 400 kV. En avril 2022, la vérification des ZRE existantes a été entreprise *via* l'état des lieux des SDAGE 2022-2027 (61, 62). Aucune nouvelle ZRE n'est recensée.

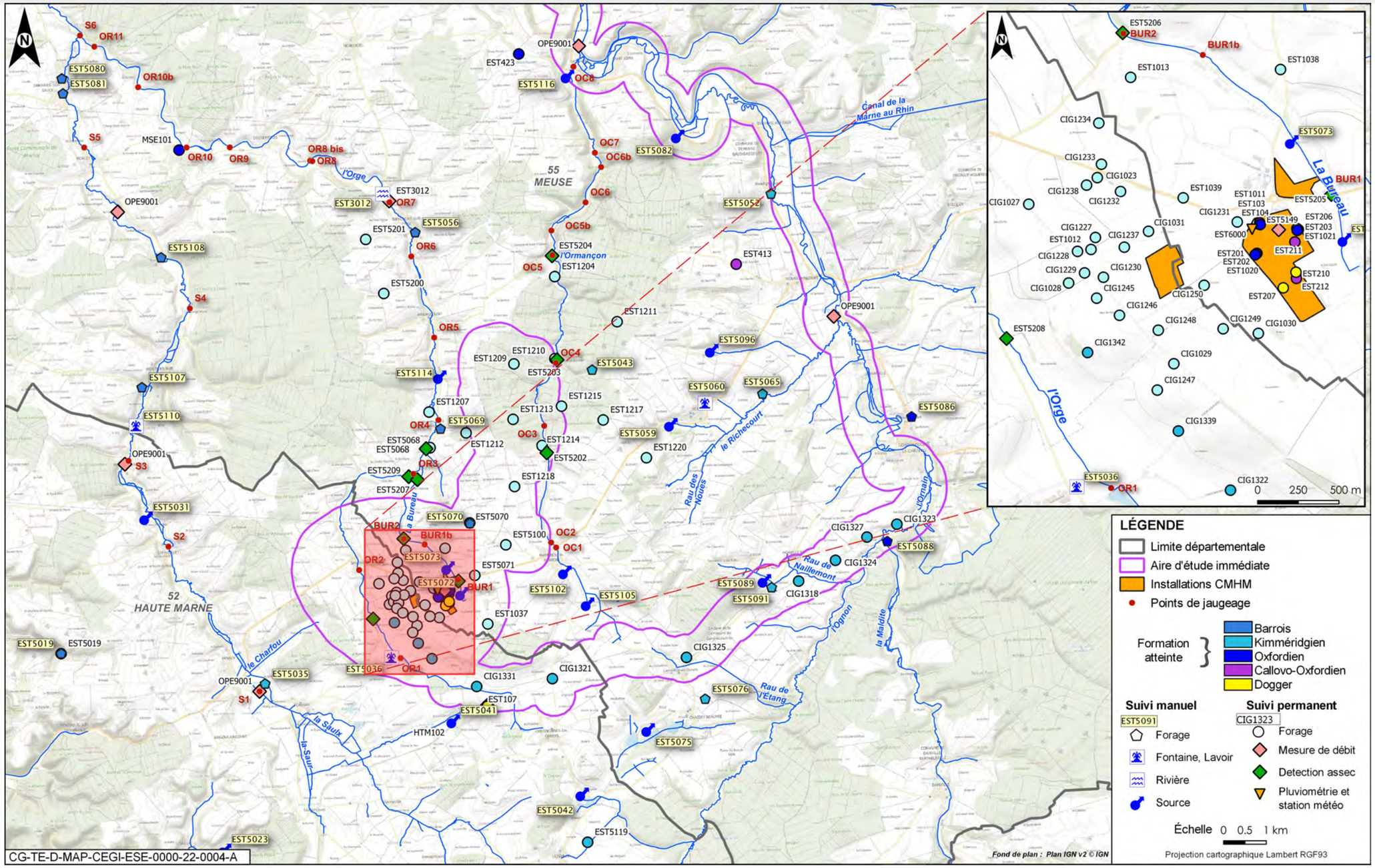


Figure 5-1 Localisation des stations et forages de suivi des eaux souterraines et superficielles (source : Andra)

5.1.2 Eaux souterraines

5.1.2.1 Description du système hydrogéologique

5.1.2.1.1 Établissement de la liste des masses d'eau souterraine concernées

Le recensement des masses d'eau souterraine présentes sous l'aire d'étude éloignée a été réalisé à partir des informations et des représentations cartographiques disponibles sur le site du Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (Sandre).

L'aquifère présent à l'affleurement a fait l'objet d'une description et du suivi le plus détaillé car il sera le principal aquifère concerné par les modifications induites par les installations de surface du centre de stockage Cigéo et qu'il est le plus accessible avec un plus grand nombre de forages.

5.1.2.1.2 Recensement et méthode d'analyse des objectifs des SDAGEs

La méthodologie utilisée par l'Andra est la vérification point par point des dispositions, des orientations, des défis des SDAGEs du bassin de la Seine et du bassin Rhin-Meuse pour 2022-2027 (61, 62) (cf. Volume III et volume IV de la présente étude d'impact) et des objectifs et état des masses d'eau.

5.1.2.2 Détermination et analyse des niveaux piézométriques

Le réseau d'ouvrages utilisé pour déterminer les niveaux piézométriques[8] des différentes nappes rencontrées au droit de l'aire d'étude éloignée est celui mis en place dans le cadre de la création et l'exploitation du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Ce réseau comporte des ouvrages créés pour les différentes campagnes de caractérisation depuis la création du laboratoire souterrain, ainsi que des ouvrages préexistants (cf. Tableau 5-1 pour la nappe des Calcaires du Barrois et tableau 5-2 pour la nappe de l'Oxfordien Calcaire).

Les données piézométriques collectées sur ce réseau de mesures sont utilisées pour :

- caractériser le comportement des aquifères et leurs interactions avec les eaux de surface par une analyse temporelle corrélée avec les données météorologiques (pluviométrie, évapotranspiration réelle) et hydrologiques (débit et niveau des cours d'eau) ;
- établir des cartes piézométriques à des dates choisies pour leur représentativité : basses, moyennes, hautes eaux. Ces « photographies » permettent notamment de préciser la structure et la variabilité saisonnière des écoulements en direction et en gradient.

Elles constituent aussi un jeu de données de référence pour le calage des différents modèles hydrogéologiques.

Tableau 5-1 Stations de suivi de la piézométrie de la nappe des Calcaires du Barrois

Référence	Profondeur du forage (m)	Masse d'eau	Localisation	Début du suivi
EST1011	24,72	FRHG303	Bure	1996
EST1012	25,24	FRHG303	Saudron	1996
EST1013	24,48	FRHG303	Bure	1996
EST1020	30,00	FRHG303	Bure	2000
EST1021	29,00	FRHG303	Bure	2000
EST1038	30,00	FRHG303	Bure	2000
EST1039	23,50	FRHG303	Bure	2000
EST1040[9]	20,20	FRHG303	Bure	2020
EST5019	32,00	FRHG303	Montreuil-Sur-Thonnance	1995
EST5068	15,69	FRHG303	Bure	1996
EST5069	9,25	FRHG303	Bure	1995
EST5071	20,44	FRHG303	Bure	1996
EST5100	39,71	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1996
CIG1023	21,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1027	30,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1028	21,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1029	15,00	FRHG303	Gillaumé	2016
CIG1030	28,00	FRHG303	Bure	2016
CIG1031	30,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1090	51,18	FRHG303	Saudron	2016
CIG1091	50,62	FRHG303	Saudron	2016
CIG1114	44,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1227	30,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1228	30,30	FRHG303	Saudron	2016
CIG1229	30,30	FRHG303	Saudron	2016
CIG1230	32,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1231	20,30	FRHG303	Bure	2016
CIG1232	25,00	FRHG303	Saudron	2016
CIG1233	25,30	FRHG303	Saudron	2016

[8] Mesure de la profondeur de l'eau par rapport au repère de tête de puits coté au nivèlement général de la France (NGF)

[9] Ce forage a fait l'objet d'acte de malveillance en avril 2018, des travaux de réfection sont prévus dès obtention de l'autorisation préfectorale nécessaire.

Référence	Profondeur du forage (m)	Masse d'eau	Localisation	Début du suivi
CIG1237	30,30	FRHG303	Saudron	2016
CIG1238	40,5	FRHG303	Saudron	2016
CIG1245	20,30	FRHG303	Saudron	2016
CIG1246	20,30	FRHG303	Saudron	2016
CIG1247	15,40	FRHG303	Gillaumé	2016
CIG1248	30,35	FRHG303	Saudron	2016
CIG1249	15,30	FRHG303	Gillaumé	2016
CIG1250	30,30	FRHG303	Bure	2016
BSS000SBCP	15,10	FRHG303	Nantois	1969
BSS000UNJB	107,00	FRHG303	Pancey	
BSS000SBTY	4,50	FRHG303	Treveray	1995
BSS000UNAR	63,00	FRHG303	Ribeaucourt	1991
BSS000UNAT	24,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1980
BSS000UNAU	63,00	FRHG303	Ribeaucourt	1980
BSS000UNMZ	5,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1974
BSS000UNND	30,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1980

Tableau 5-2 Stations de suivi de la piézométrie de la nappe de l'Oxfordien Calcaire

	Profondeur du forage (m)	Masse d'eau	Localisation	Début du suivi
MSE101	922	FRHG306/FRHG305	Morley	2003
EST103	526	FRHG306/FRHG305	Bure	1993-1995
EST104	425	FRHG306/FRHG305	Bure	1996
EST107	425	FRHG306/FRHG305	Cirfontaines-en-Ornois	1993-1995
EST201	410	FRHG306/FRHG305	Bure	2000
EST203	410	FRHG306/FRHG305	Bure	2000
EST311	400	FRHG306/FRHG305	Demange-aux-Eaux	1999-2005
EST423	451	FRHG306/FRHG305	Tréveay	2007
EST451	577	FRHG306/FRHG305	Narcy	2007-2008
EST461	420	FRHG306/FRHG305	Thonnance-les-Moulins	2007-2008

5.1.2.3 Détermination de l'état des masses d'eau souterraines

5.1.2.3.1 Cadre réglementaire

Au sens de la directive-cadre sur l'eau (DCE), le bon état d'une eau souterraine est l'état atteint par une masse d'eau souterraine lorsque son état quantitatif et son état chimique sont au moins « bons ».

La directive cadre sur l'eau 2000/60/CE (DCE) (58) et sa directive fille 2006/118/CE (63) pour l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine définissent l'état qualitatif des eaux souterraines comme « bon » lorsque à la fois :

- les concentrations en certains polluants dues aux activités humaines ne dépassent pas les normes définies ;
- ces concentrations n'empêchent pas d'atteindre les objectifs fixés pour les eaux de surface ou écosystèmes terrestres associés à ces mesures d'eau de qualité ;
- il n'est constaté aucune intrusion d'eau salée (ou autre eau polluée) due aux activités humaines.

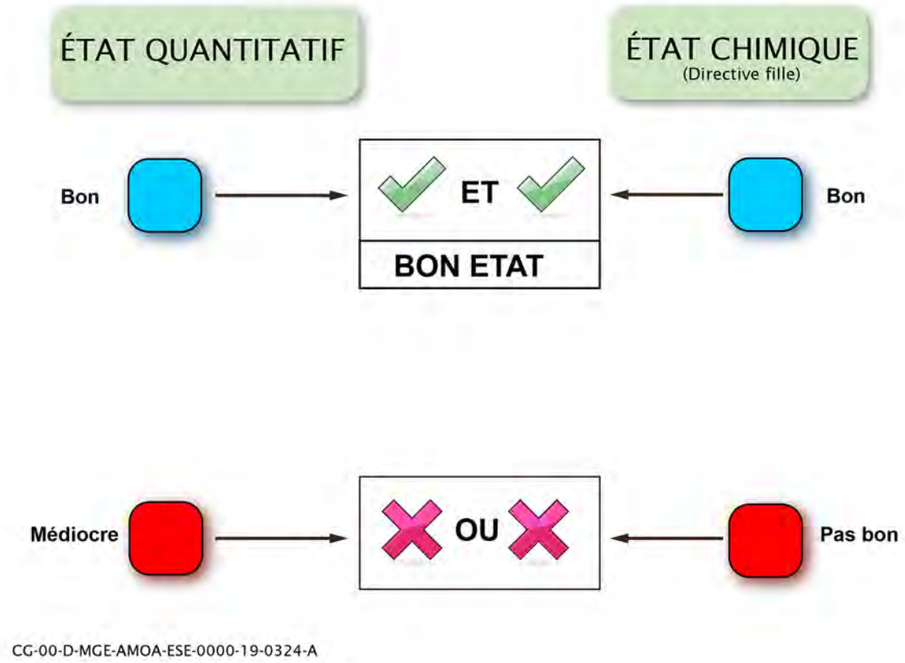


Figure 5-2 Processus de définition de l'état des masses d'eau souterraines

Les paramètres et valeurs seuils, présentés dans le tableau annexe 6-1, sont fixés par l'arrêté du 17 décembre 2008 (64), et mis en application par le guide technique d'évaluation de l'état des eaux souterraines de juillet 2019 (65), établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines.

[10] http://sigessn.brgm.fr/

5.1.2.3.2 Données utilisées

Les connaissances acquises sur les masses d'eau souterraines proviennent des informations disponibles sur le site du SIGES (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie)[10] et dans les annexes des SDAGEs compilant les résultats des états des lieux des Agences de l'eau (données 2019). Ces données sont complétées par des suivis réalisés par l'Andra ces suivis « Andra » permettent de préciser localement les données recueillies sur les aquifères au droit du centre de stockage Cigéo.

La liste des laboratoires indépendants accrédités étant intervenus pour les prélèvements et les analyses d'eau souterraine des suivis de l'Andra figure dans le tableau 5-3.

Tableau 5-3 Liste des laboratoires indépendants accrédités étant intervenus pour les prélèvements et les analyses d'eau souterraine

Année	Micropolluants	Autres paramètres
2014	Synlab	Aspect environnement
2015	Synlab	Aspect environnement
2017	Synlab	Aspect environnement
2018	Synlab	Aspect environnement
2019	Synlab	Aspect environnement

5.1.2.3.3 Stations de suivi

Le réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines de l'Andra (OPE) compte dix stations permettant d'échantillonner la masse d'eau FRHG303 « Calcaires du Tithonien karstique entre Seine et Ornain » et la masse d'eau FRHG306 « Calcaires Kimméridgien-Oxfordien karstique entre Seine et Ornain ».

Ces stations[11] sont indiquées sur la figure 5-3 et les fréquences des mesures réalisées à chaque station sont indiquées dans le tableau 5-4. Elles ont fait l'objet de campagnes de mesure de 2014 à 2019.

Les données des états des lieux des agences de l'eau ont également été utilisées pour qualifier l'état des des masses d'eau.

Les données analysées pour qualifier les eaux du Dogger ne sont pas étudiées au regard des normes de qualité environnementale (NQE) ; la masse d'eau n'est en effet pas exploitée dans l'aire d'étude éloignée du projet global Cigéo.

[11] Huit stations pour la masse d'eau FRHG303 et deux stations pour la masse d'eau FRHG306.

Tableau 5-4 Fréquence des observations par station de suivi

Code OPE	OPE02355	OPE02520	OPE02357	OPE02363	OPE02372	OPE02518	OPE02519	OPE03357	OPE03358	OPE03359
Code BSS	02661X0023/F1	02665X0030/S	02654X0007/F4	02654X0031/1204	02658X1003/F3	02653X0001/F1	02654X0038-1	02661X0033-1	02661X0038-1	02661X0039-1
Ouvrage	EST5065	EST5076	EST5069	EST1204	EST5100	EST5078	EST1210	EST1207	EST1217	EST1220
Niveau aquifère étudié	Kimméridgien	Oxfordien	Barrois	Barrois	Barrois	Barrois	Barrois	Barrois	Barrois	Barrois
Nb. total d'observations	10	27	18	26	24	24	9	15	8	18
Nb. d'observations/an										
2014	3	3	2	4	4	4	3			
2015	3	4	4	4	4	4	2			
2016										
2017		6	2	4	4	4		5		6
2018		6	2	4	4	4		4	2	6
2019		4	4	6	4	4		6	6	6

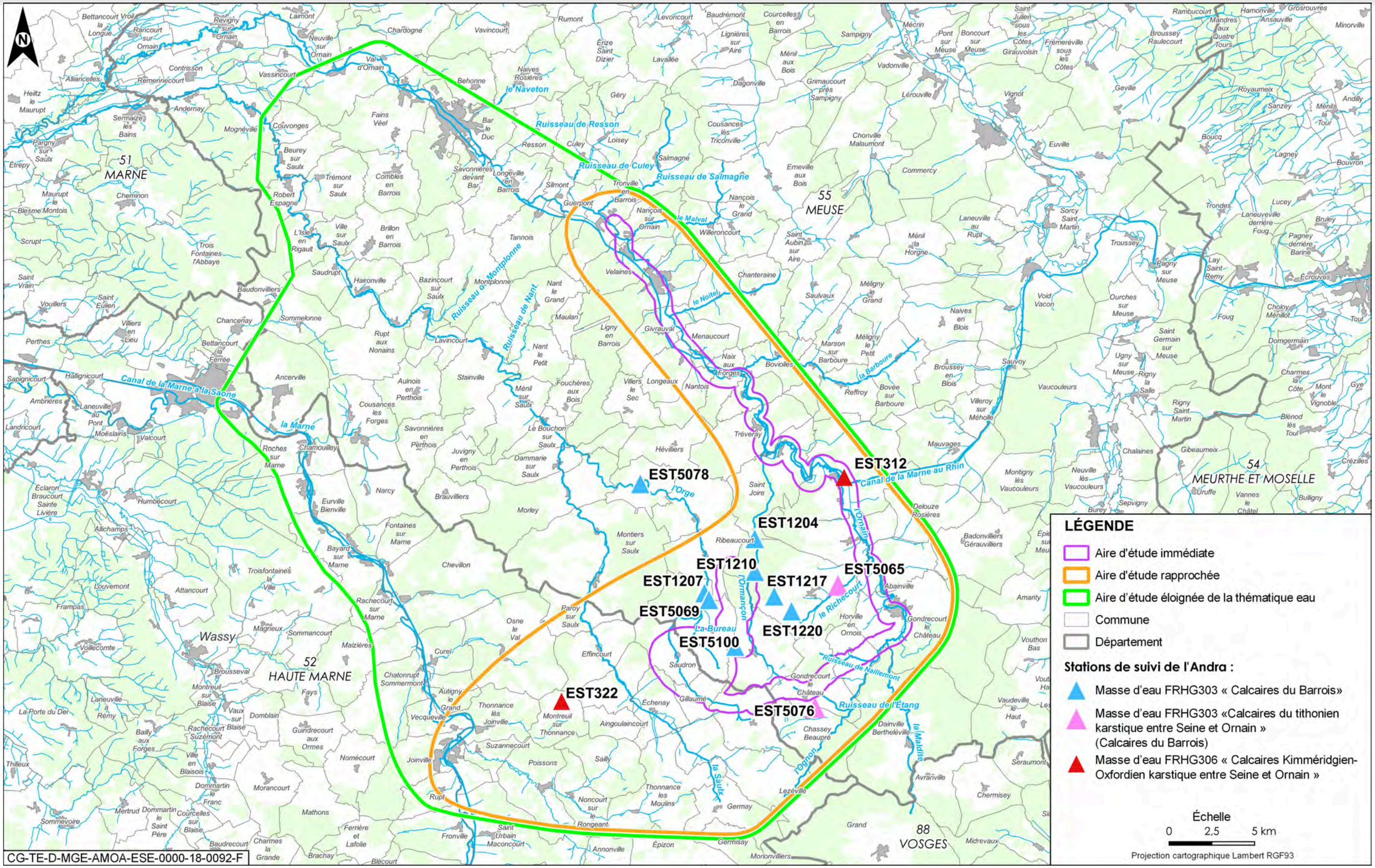


Figure 5-3 Localisation des stations de suivi de la qualité des eaux souterraines de l'Andra

5.1.2.3.4 Le programme analytique pour les paramètres conventionnels

L'ensemble des étapes relatives au prélèvement et à la conservation des échantillons d'eaux souterraines, pour la qualification des paramètres conventionnels, respectent les prescriptions des textes suivants :

- NF EN ISO 5667-3 (juin 2018) (66) : « Échantillonnage, Partie 3 : lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau » ;
- FD T 90 523 3 (janvier 2009) (67) : « Guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement » ;
- FD X 31 615 (décembre 2000) (68) : « Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions : prélèvements et échantillonnages des eaux souterraines dans un forage » ;
- procédure interne de prélèvement n° PP004 de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement : « Prélèvement des piézomètres ».

Les laboratoires (Synlab et Aspect environnement) analysent ensuite les échantillons selon des normes AFNOR internationales ou des méthodes internes validées selon la norme NF T90-210 de novembre 2018 (69) et reconnues par les instances officielles (COFRAC ou DAKKS).

Les résultats des analyses sont interprétés à l'aide de la circulaire du 23 octobre 2012 (70) relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 (64) établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines, ainsi qu'à l'aide du guide technique d'évaluation de l'état des eaux souterraines de juillet 2019 (65).

Les moyennes annuelles des différents paramètres analysés sont ainsi comparées aux NQE-MA (Norme de qualité environnementale – moyenne annuelle) définis par la circulaire et chaque dépassement représente un déclassement de la masse d'eau souterraine en mauvaise qualité, pour ce paramètre.

5.1.2.3.5 Le programme analytique pour les paramètres non-conventionnels

Afin de qualifier l'état initial « radiologique », des analyses ont été menées dans les eaux souterraines.

a) Eaux souterraines des Calcaires du Barrois

Les trois forages destinés au prélèvement des eaux des Calcaires du Barrois (EST1011, EST1037[12] et EST1038) sont suivis dans le cadre de la surveillance radiologique annuelle du Laboratoire de recherche souterrain de Bure depuis 2002. Leur localisation est présentée sur la figure 2-7 du volume VII de la présente étude d'impact.

Les prélèvements ainsi que les analyses sont réalisés par le laboratoire agréé SMART de Subatech.

Plusieurs analyses sont réalisées : spectrométrie gamma longue durée selon la norme NF ISO 10703 de 2016 (36), mesure du tritium par scintillation liquide selon la norme NF ISO 9698 de 2015 (29) et détermination de l'indice alpha global et de l'indice bêta global sur compteur proportionnel à gaz selon la norme ISO 10704 de 2019 (71).

b) Eaux souterraines « profondes » (Oxfordien et Dogger)

Une campagne spécifique pour mesurer les niveaux de radioactivité alpha et bêta global des eaux de l'Oxfordien et du Dogger a été menée en 2015. Les prélèvements ont été envoyés pour analyse à un laboratoire allemand Hydroisotop.

Le tritium et le carbone 14, naturels ou artificiels, étant produits dans l'atmosphère, ils ne sont pas présents dans ces eaux souterraines profondes (calcaires Oxfordien et Dogger), sans communication avec la surface. Seules des mesures alpha et beta globales ont été effectuées.

5.1.2.4 Recensement des usages des eaux souterraines

Dans l'aire d'étude éloignée, le recensement des usages des eaux souterraines a été fait sur une base documentaire et par des investigations de terrain pour les usages suivants :

- l'eau potable : l'inventaire des captages d'eau potable, et de leurs périmètres de protection associés a été réalisé à partir des bases de données « Infoterre » du BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières)[13] et de l'ADES (Accès aux données sur les eaux souterraines)[14] complétées par des échanges avec l'Agence régionale de santé (ARS) de la région Grand Est et les directions départementales des territoires des départements concernés ;
- les eaux souterraines prélevées pour des usages divers comme les usages agricoles (captages pour l'irrigation et l'abreuvement du bétail) et les usages industriels (eau de process) : le recensement des prélèvements d'eau souterraine a été réalisé à partir des bases de données « Infoterre » du BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières)[15].

Une campagne de terrain a été diligentée par l'Andra entre novembre 2020 et avril 2021 dans le but d'effectuer des levées de doute concernant certains points d'eau de la banque du sous-sol (BSS) et de recenser d'éventuels points d'eau encore non référencés dans celle-ci.

5.1.2.5 Recensement des risques d'inondation par remontée de nappe

L'analyse du risque inondation s'est appuyée sur la consultation de la carte nationale de sensibilité aux remontées de nappe produite par le BRGM permettant de localiser les zones où il y a de fortes probabilités d'observer des débordements par remontée de nappe.

Cette carte repose sur l'exploitation de données piézométriques et de leurs conditions aux limites d'origines diverses (BSS, ADES, déclarations CATNAT, résultats de modèles hydrodynamiques, isopièzes, etc.) qui, après avoir été validées ont permis par interpolation de définir les isopièzes des cotes maximales probables, elles-mêmes permettant par soustraction aux côtes du Modèle Numérique de Terrain (RGE ALTI®) d'obtenir les valeurs de débordement potentielles[16].

[12] Ce forage a fait l'objet d'acte de malveillance en avril 2018, des travaux de réfection sont prévus dès obtention de l'autorisation préfectorale nécessaire.
[13] http://infoterre.brgm.fr/
[14] https://ades.eaufrance.fr/
[15] http://infoterre.brgm.fr/
[16] http://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives#

5.1.3 Eaux superficielles

5.1.3.1 Description du réseau hydrographique

5.1.3.1.1 Définition des masses d'eau de surface

La définition d'une masse d'eau de surface au sens administratif et à fin d'identification pour leur gestion environnementale est fournie par le service d'administration nationale des données et référentiel sur l'eau (SANDRE).

MASSE D'EAU DE SURFACE

Il s'agit d'une portion de cours d'eau, canal, plan d'eau ou zone côtière homogène. Elle correspond à un découpage élémentaire des milieux aquatiques et est destinée à être l'unité d'évaluation de la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE (58). Une masse d'eau de surface est une partie distincte et significative des eaux de surface, telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières. Pour les cours d'eau la délimitation des masses d'eau est basée principalement sur la taille du cours d'eau et la notion d'hydro-écorégion. Les masses d'eau sont regroupées en types homogènes qui servent de base à la définition de la notion de bon état.

L'identification des masses d'eau de surface a été vérifiée avec les nouveaux référentiels projetés des SDAGE de la Seine et des cours d'eau côtiers normands et Rhin-Meuse 2022-2027 (61, 62).

5.1.3.1.2 Identification des bassins versants topographiques

L'identification des bassins versants topographiques interceptés par le projet global Cigéo a été réalisée à partir des données de la base Sandre BD Carthage (octobre 2019 et avril 2020 pour la ligne électrique 400 kV).

Cet inventaire recoupe à la fois le référentiel hydrographique national permettant de localiser des données relatives à l'eau et le découpage des masses d'eau de surface considéré dans l'état actuel du SDAGE de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2022-2027 (62) et du SDAGE Rhin-Meuse 2022-2027 (61) pour l'extrémité est de la ligne électrique 400 kV.

5.1.3.1.3 Établissement de la liste des cours d'eau concernés

Les cours d'eau pérennes ou non, recensés dans l'aire d'étude éloignée du projet global Cigéo et l'aire d'étude de la ligne électrique 400 kV ont été identifiés à partir :

- des SCAN IGN au 1/25 000 ;
- de la BD Carthage (base de données du réseau hydrographique français produite par les agences de l'eau) ;
- du site[17] du ministère de la Transition Écologique et Solidaire/ministère de la Cohésion des Territoires des Préfectures de la Meuse (département 55), de la Haute-Marne (département 52) ;
- de la liste des cours d'eau définie pour les départements de la Haute-Marne et de La Meuse ;
- des visites de terrains pour consolider les connaissances du réseau hydrographique.

La liste des cours d'eau ainsi établie est en cohérence avec la définition réglementaire de sorte que l'analyse des incidences est faite à la fois à travers le prisme des listes des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux et des subdivisions hydrographiques de la base de données SANDRE.

COURS D'EAU

Selon l'article L. 215-7-1 du code de l'environnement, « constitue un cours d'eau un écoulement d'eaux courantes dans un lit naturel à l'origine, alimenté par une source et présentant un débit suffisant la majeure partie de l'année. L'écoulement peut ne pas être permanent compte tenu des conditions hydrologiques et géologiques locales ».

Un écoulement est considéré comme un cours d'eau si les trois critères cumulatifs suivants sont réunis :

- la présence et permanence d'un lit, naturel à l'origine (les cours d'eau dont le tracé a été modifié ou dont des parties ont été busées restent donc des cours d'eau) ;
- un débit suffisant une majeure partie de l'année ;
- l'alimentation par une source (qui peut être une source ponctuelle ou diffuse, une résurgence de nappe).

L'instruction gouvernementale du 3 juin 2015 (72) relative à la cartographie et l'identification des cours d'eau et à leur entretien a demandé aux services de l'État de réaliser une cartographie des cours d'eau pour chaque département. Les écoulements présentés ci-après sont en cohérence avec les cours d'eau définis par des directions départementales des territoires de la Meuse et de la Haute-Marne.

Le Conseil d'État a confirmé dans sa décision n° 395021 du 22 février 2017 (73) la validité des éléments de cette instruction qui précise que dans des cas résiduels où les trois critères majeurs ne permettent pas de statuer avec certitude sur la qualification ou non de l'écoulement en cours d'eau qu'un faisceau d'indices peut être considéré. Celui-ci permet d'aider à caractériser les critères majeurs.

Les cours d'eau de l'aire d'étude immédiate interceptés par le projet global Cigéo ont été étudiés plus en détail, et ont fait l'objet notamment de suivis qualitatifs et quantitatifs de la part de l'Andra.

Les autres cours d'eau se trouvant dans l'aire d'étude éloignée n'ont pas fait l'objet d'une description aussi complète, notamment lorsqu'il s'agit de cours d'eau dont les bassins versants ne se trouvent pas en aval des aménagements projetés.

Le recensement des plans d'eau a été réalisé, dans l'aire d'étude rapprochée du projet global Cigéo, par l'étude de la carte IGN.

5.1.3.2 Appréciation du risque inondation

5.1.3.2.1 Règlementation et exigences

La directive européenne 2007/60/CE, dite « directive inondation » (74) a été transposée en droit Français dans la loi LENE du 13 juillet 2010 (75) et dans le décret n° 2011-227 du 2 mars 2011 (76) relatifs à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation.

À l'échelon national français, la mise en œuvre de la directive européenne a été traitée au niveau de chaque grand bassin hydrographique. L'application de la directive inondation se déroule en trois étapes successives :

- évaluation préliminaire des risques (EPRI), conduisant au recensement d'évènements historiques marquants et à la production d'indicateurs caractérisant les enjeux à l'échelle du bassin, notamment sur la population et les emplois exposés. L'EPRI conduit au choix des territoires à risques importants d'inondation (TRI) ;
- cartographie des surfaces inondables et des risques d'inondation sur les TRI ;
- plans de gestion des risques d'inondation (PGRI), en déclinaison de la stratégie nationale, sur la base de l'EPRI et des cartographies effectuées sur les TRI. Ces PGRI sont détaillés au niveau local sur chaque TRI par une stratégie locale de gestion des risques d'inondation, laquelle se traduit de manière opérationnelle dans des plans d'action tels que les PAPI (programmes d'actions de prévention des inondations), et des projets PSR (plan des submersions rapides), et au niveau règlementaire dans les PPR (plans de prévention des risques). Les PGRI sont aussi traduits de manière opérationnelle au niveau grand bassin par les plans grand fleuves (PGF). Les PGRI ont été arrêtés par les préfets coordonnateurs de bassin en décembre 2015 et les stratégies

[17] http://cartelie.application.developpement-durable.gouv.fr/

locales sont mises en œuvre depuis 2016. Les PGRI pour la période 2022-2027 sont en cours d'élaboration et seront approuvés pour mars 2022.

Un inventaire de la règlementation et des exigences a été réalisé sur toutes les communes circonscrites dans l'aire d'étude éloignée du projet global Cigéo et de l'aire d'étude de la ligne électrique 400 kV définie pour l'analyse des milieux physiques du projet global Cigéo. Ainsi, un inventaire des textes règlementaires et documents de prescriptions applicables et des bases de données disponibles a été entrepris en trois étapes :

- étape 1 – inventaire des documents administratif d'organisation de cette gestion :
  - ✓ les atlas des zones inondables (AZI)[18] ;
  - ✓ les plans de prévention du risque inondation (PPRI) des secteurs de la Marne moyenne, des vallées de la Saulx et de l'Orge, des secteurs amont et centre de l'Ornain, source Direction départementale du territoire (DDT) Meuse et Haute-Marne, auquel s'ajoute les plans de prévention des risques inondation de Vaucouleurs et Vold et de la vallée de la Meuse pour l'extrémité est de la ligne 400 kV ;
  - ✓ les plans de gestion risque inondation (PGRI) du grand bassin Seine-Normandie et du grand bassin Rhin-Meuse ;
  - ✓ les territoires à risque important d'inondation (TRI) ;
  - ✓ les programmes d'actions de prévention des inondations (PAPI) avec en Haute-Marne et en Meuse un PAPI d'Intention, de la Marne, Vallage et Perthois ;
- étape 2 – inventaire des documents de prescriptions tels que :
  - ✓ le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE Seine Normandie et des cours d'eau côtiers normands – SDAGE Rhin-Meuse) ;
  - ✓ les règlements d'urbanismes locaux ;
- étape 3 – inventaire des bases de données tels que :
  - ✓ base de données historiques sur les inondations (BDHI) ;
  - ✓ base géorisques pour les territoires à risque important d'inondation (TRI) et les plans de prévention des risques naturels de type inondation (PPRNi).

L'analyse du risque inondation s'est appuyée sur la consultation de :

- l'atlas des zones inondables ;
- les plans de prévention des risques inondation (PPRI) ;
- les plans de gestion des risques d'inondation (PGRI) ;
- les territoires à risque important d'inondation (TRI) ;
- le programme d'actions de prévention contre les inondations (PAPI).

Il en ressort que dans cette aire d'étude éloignée définie pour le milieu physique du projet global Cigéo et dans l'aire d'étude de la ligne électrique 400 kV, il n'existe ni programme d'action de prévention des inondations, ni territoire à risque important d'inondation, et ni schéma d'aménagement et de gestion des eaux.

5.1.3.2.2 Définition de l'état initial pour le risque inondation

Les différents documents cités au chapitre 5.1.3.2.1 du présent volume ont été étudiés pour permettre notamment la description des phénomènes d'inondation et pour établir la liste des contraintes ou prescriptions règlementaires s'appliquant dans l'aire d'étude éloignée. Les documents sont téléchargeables depuis les sites Internet des préfectures.

Une simulation hydraulique a permis de modéliser les zones inondées sur la Bureau, l'Orge et l'Ormançon à l'état initial aux abords du centre de stockage Cigéo pour une pluie de période de retour 10 ans et 100 ans.

Des évaluations de débits spécifiques de ces cours d'eau ont été obtenues sur la base de calculs paramétrés sur des critères géographiques (surfaces des bassins-versants aux futurs points de rejets, état des surfaces actuelles, topographie, statistiques et chroniques pluviales). Ces débits spécifiques sont ceux qui servent pour le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales du centre de stockage Cigéo au niveau de définition des aménagements et installations connus au stade de la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo.

» LA NON AGGRAVATION DES RISQUES D'INONDATION

Le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau qui s'y écoule par unité de temps (l/s).

Le débit spécifique d'un cours d'eau en un point est son débit par unité de superficie du bassin versant situé en amont de ce point (l/s/ha). Il permet de comparer des cours d'eau situés sur des bassins versants différents et les capacités d'infiltration des eaux de ces bassins versants.

L'imperméabilisation des sols entraîne une diminution de la quantité d'eau pluviale infiltrée et donc une augmentation du débit spécifique.

Sur le centre de stockage Cigéo, l'eau pluviale sur les surfaces imperméabilisées est collectée et transférée vers des bassins qualitatifs pour traitement, puis vers des bassins quantitatifs qui régulent le débit de rejet.

Le débit régulé des eaux pluviales rejetées par le centre de stockage Cigéo est inférieur au débit spécifique naturel du bassin versant correspondant, c'est-à-dire au débit spécifique sans le centre de stockage (sans imperméabilisation de la zone).

Ce principe permet de ne pas aggraver le risque d'inondation à l'aval du point de rejet.

Les choix méthodologiques sur l'analyse des précipitations et autres données climatologiques figurent au chapitre 5.2.2.3 du présent volume.

5.1.3.3 Détermination des débits des cours d'eau

5.1.3.3.1 Réseau public d'information sur l'eau (EauFrance)

Les données de débits des cours d'eau sont issues des synthèses par station disponibles sur le site[19] (Eaufrance est le service public d'information sur l'eau (77))

Les données disponibles sur les stations du réseau Eaufrance permettent de définir pour les cours d'eau suivis les paramètres suivants :

- les débits mensuels interannuels ;
- les débits spécifiques mensuels interannuels ;
- les lames d'eau mensuelles interannuelles ;
- les modules interannuels et les débits quinquennaux secs et humides ;
- les valeurs caractéristiques de basses (VCN3, VCN10, QMNA) et de hautes eaux (QJ, QIX) ;
- les *maxima* connus (débit instantané maximal, hauteur maximale instantanée, débit journalier maximal) ;
- les débits classés par fréquence.

Tableau 5-5 Points de suivi des débits des cours d'eau (Eaufrance)

N° du point de suivi de la Banque HYDRO	Bassin versant concerner	Cours d'eau suivi	Fréquence de mesure
H5071040	La Marne	La Marne	Continu
H5071050		La Marne	Continu

[18] https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/base-gaspar

[19] http://hydro.eaufrance.fr/

N° du point de suivi de la Banque HYDRO	Bassin versant concerner	Cours d'eau suivi	Fréquence de mesure
F5210601		Le Rongeant	Ponctuelle
H5102040	La Saulx	La Saulx	Continu
H5112310	Ornain	Ornain	Continu
H5122340		Ornain	Continu

5.1.3.3.2 Réseau de suivi de l'Andra (OPE)

Les données issues des stations du réseau de suivi de l'Andra permettent principalement d'apprécier les débits instantanés des cours d'eau. Ce sont souvent des mesures ponctuelles et elles sont données à titre indicatif notamment pour alimenter la connaissance sur les cours d'eau non référencés sur Eaufrance.

Le tableau 5-6 ci-dessous indique les laboratoires indépendants accrédités étant intervenus pour les jaugeages des eaux superficielles.

Tableau 5-6 Liste des prestataires indépendants intervenus pour les jaugeages

Année	Laboratoires
2014	Gestion Hydro
2015	Gestion Hydro
2017	GEREEA et Eurofins
2018	GEREEA et Eurofins
2019	Eurofins

a) Stations

Le réseau de suivi des débits des cours d'eau incluant de l'Andra comporte deux types de stations : stations de suivi continu (de la Saulx et de l'Ornain) et stations de suivi ponctuel. Leurs localisations sont présentées sur la figure 5-5.

Les points de suivi et leur fréquence de mesure sont classés par bassin versant et présentés dans la figure 5-8.

Tableau 5-7 Points de suivi « Andra » des débits des cours d'eau d'intervention (prévisionnelle en raison des assecs)

N° du point de suivi de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE)	Bassin versant concerner	Cours d'eau suivi	Fréquence de mesure
OPE90011	La Saulx	La Saulx	Continu
OPE90012		La Saulx	Continu
OPE90013		La Saulx	Continu
OPE01890		La Saulx	Ponctuelle
OPE01881		L'Orge	Ponctuelle
OPE01882		L'Orge	Ponctuelle
OPE01750		L'Orge	Ponctuelle
OPE01883		L'Orge	Ponctuelle
OPE01751		L'Orge	Ponctuelle
EST5072		La Bureau	Ponctuelle
EST5073		La Bureau	Ponctuelle
OPE90014	Ornain	Ornain	Continu
OPE90015		Ornain	Continu
OPE01884		Ormançon	Ponctuelle
OPE01885		Ormançon	Ponctuelle
OPE01886		Ormançon	Ponctuelle
OPE02790		Ruisseau de Naillemont	Ponctuelle
OPE02791		Ruisseau de Naillemont	Ponctuelle
OPE02792		Ruisseau de l'Étang	Ponctuelle
OPE02793		Ruisseau de l'Étang	Ponctuelle

Le fonctionnement des deux types de stations est le suivant :

- les **stations de mesure en continu** (cf. Figure 5-4) sont placées sur les cours d'eau pérennes. La mesure est réalisée à l'aide d'un bulle-à-bulle permettant d'enregistrer la hauteur d'eau. Ce matériel OTT CBS est un capteur pneumatique permettant de déterminer la différence de pression entre l'atmosphère et le tube immergé pour en déduire une hauteur d'eau. Cette hauteur d'eau est ensuite convertie en débit à l'aide d'une courbe de tarage établie à chaque station. Les données sont donc des débits calculés en $m^3.s^{-1}$. La fiabilité de la mesure est assurée grâce aux contrôles du matériel, à celui de l'étalonnage du matériel, de la puissance de la source d'énergie de l'appareil, de l'état de la section ou du canal de mesure, etc. Des mesures ponctuelles sont également réalisées sur les stations en continu pour déterminer et contrôler les courbes de tarage ;
- les **stations non équipées de mesure en continu** sont notamment celles placées sur les cours d'eau intermittents. Les mesures de débits au micro-moulinet sont réalisées selon la méthode « d'intégration » basée sur le principe de la mesure du champ des vitesses sur une verticale de la colonne d'eau en plusieurs points d'une même section et de hauteur mesurée. Afin que les résultats soient représentatifs du tronçon étudié, le choix de la section respecte différents critères morphologiques : linéarité du tronçon, absence d'obstacle, nature du lit, type d'écoulement, etc. Chaque hélice utilisée pour les relevés de vitesse possède sa propre courbe d'étalonnage, laquelle est utilisée pour le dépouillement des mesures.



Figure 5-4 Station de suivi en continu des eaux de surface (station OPE 90014 le long de l'Ornain)

b) Fréquence des mesures

Les stations de mesure en continu du réseau de Andra mesurent la hauteur d'eau des cours d'eau six fois/jour. Les débits calculés sont issus des données journalières médianes.

Pour ce qui est des stations de mesures ponctuelles, quatre à six mesures de débit ponctuel par an ont été réalisées entre 2011 et 2015. En 2017, 2018 et 2019, le nombre potentiel de mesures est passé à 12 par an. Le nombre réel de mesures dépend des conditions hydrologiques rencontrées.

Les périodes d'assecs ont été notées lors des campagnes de mesures ponctuelles ou de prélèvement et cette information est reportée sur les fiches d'intervention.

5.1.3.3.3 Données de l'Office français de la biodiversité

L'OFB met à disposition des cartographies à l'échelle nationale faisant figurer les débits caractéristiques de référence (QMNA5 et Module). Les modules et QMNA5 sont reconstitués sur tous les tronçons de la BD CARTHAGE en s'appuyant sur les stations hydrométriques les moins influencées possibles par les activités humaines et disposant de chroniques de débit de suffisamment bonne qualité. La cartographie s'appuie sur une méthodologie nationale recourant à plusieurs modèles et reflète l'état des connaissances fin 2012.

Les points représentatifs de tronçons sont localisés sur la figure 5-5.

5.1.3.3.4 Données de l'Observatoire des assecs

Le site de l'Observatoire national des étiages (ONDE) présente les observations visuelles réalisées par les agents départementaux de l'Office français de la biodiversité (OFB) pendant la période estivale sur l'écoulement des cours d'eau.

De mai à septembre, l'OFB se rend sur chaque station ONDE pour déterminer visuellement l'état de l'écoulement : écoulement visible, écoulement non visible, assec, écoulement visible faible, observation impossible. Ces données sont présentées au chapitre 5 du volume III selon deux modalités : présence d'eau ou assec.

Ce suivi est réalisé au plus près du 25 du mois, plus ou moins deux jours. Un fonctionnement de crise peut également être mis en place en cas de très forte sécheresse. Ce fonctionnement consiste à réaliser des suivis sur un plus grand nombre de points et à une fréquence plus importante. La base de données de l'ONDE ne permet pas d'avoir des informations sur l'ensemble des cours d'eau concernés par le projet global Cigéo. Les données ONDE sont présentées uniquement pour l'Orge et l'Ormançon.

Les stations du réseau ONDE dont les données sont présentées au volume III sont localisées sur la figure 5-5.

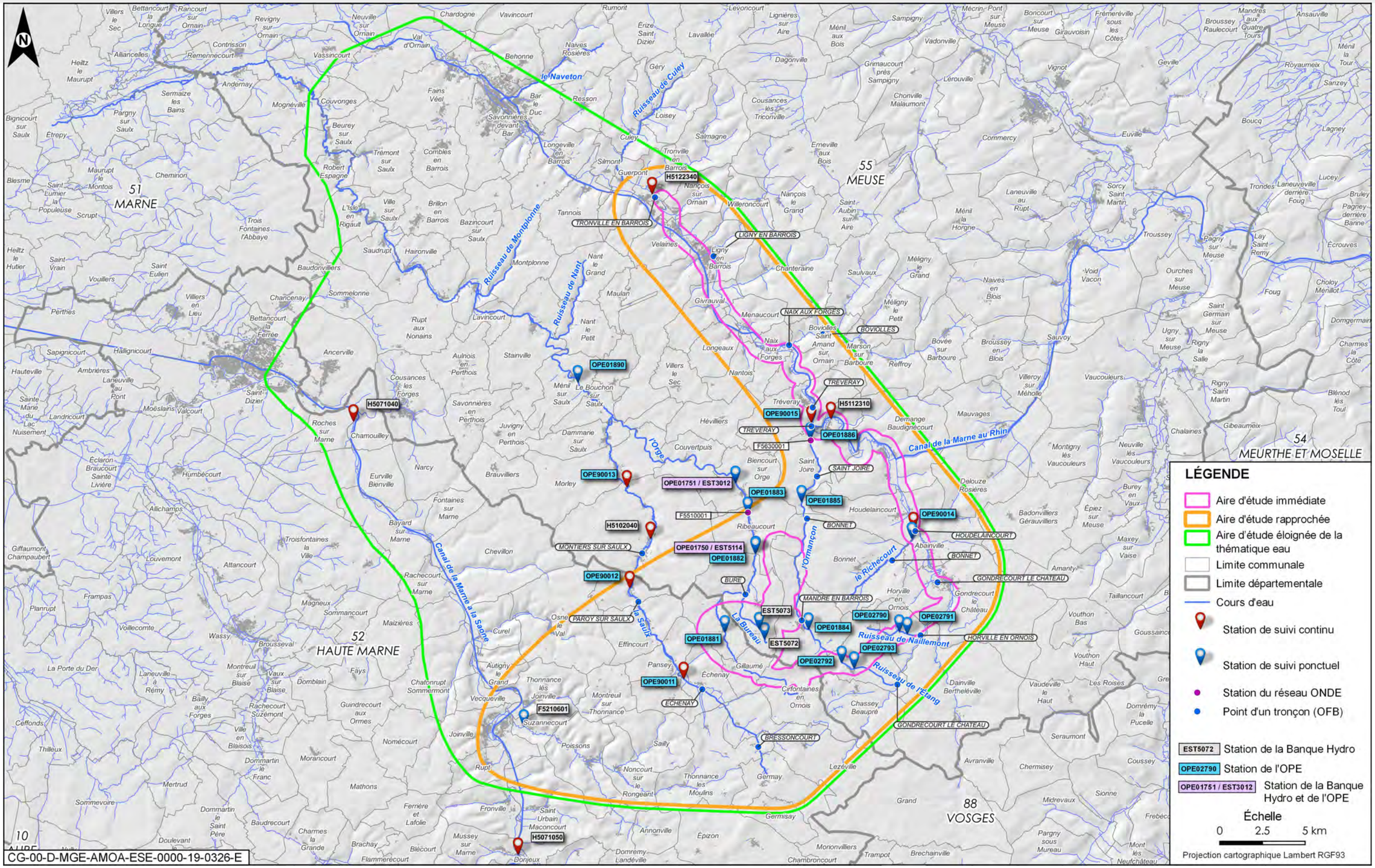


Figure 5-5 Carte des stations de jaugeage de l'Observatoire pérenne de l'environnement et des services de l'État et recensées dans « Eaufrance »

5.1.3.4 Détermination de l'état qualitatif des cours d'eau

5.1.3.4.1 Règlementation et exigences

La directive cadre sur l'eau (DCE) 2000/60/CE du 23 octobre 2000 (58) fixe les exigences de « bon état des masses d'eau ». Transposée en droit français, les règles d'évaluation de l'état des eaux de surface sont définies par l'arrêté ministériel du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (78). Cet arrêté a été modifié par l'arrêté du 27 juillet 2015 (79), puis par celui du 27 juillet 2018 (80).

Les SDAGEs tiennent compte de ces exigences et fixent le calendrier d'objectifs d'atteinte du « bon état » des masses d'eau.

Ainsi, chaque cours d'eau de l'aire d'étude éloignée du projet global Cigéo est caractérisé par son état chimique et écologique et son objectif de qualité à atteindre indiqué dans le SDAGE 2022-2027 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands et dans le SDAGE 2022-2027 du bassin Rhin-Meuse (61, 62).

Le texte référentiel est l'arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (80).

L'état d'une masse d'eau est défini sur la base de deux composantes : **l'état écologique** et **l'état chimique.**

La directive cadre sur l'eau définit alors le « bon état » d'une masse d'eau de surface lorsque l'état écologique et l'état chimique de celle-ci sont au moins bons (cf. Figure 5-6).

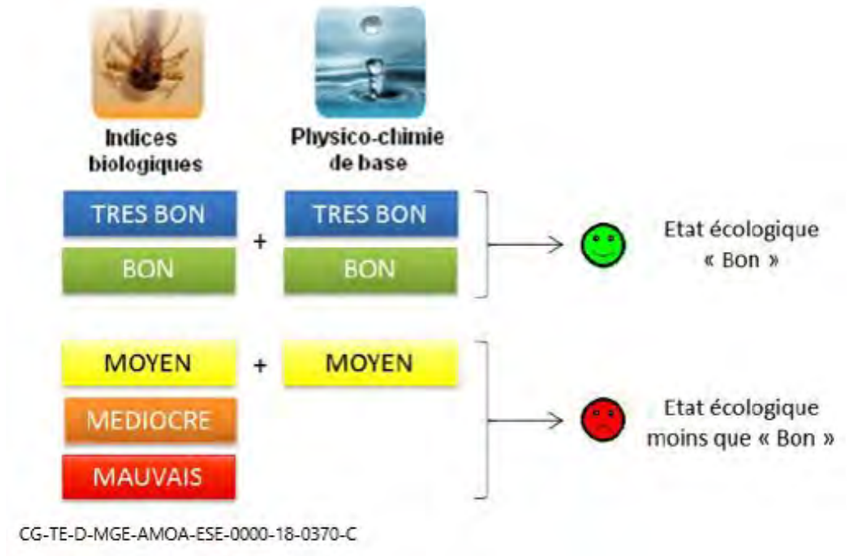


Figure 5-6 Règle de détermination de l'état des masses d'eau superficielles selon la directive cadre sur l'eau)

a) L'état écologique

L'état écologique d'une masse d'eau de surface résulte de l'appréciation d'éléments de qualité **biologiques** (espèces végétales et animales), **hydromorphologiques** et **physico-chimiques,** comme indiqué sur la figure 5-7.

Pour chaque type de masse d'eau (par exemple : petit cours d'eau de montagne, lac peu profond de plaine, côte vaseuse…), l'état écologique se caractérise par un écart aux « conditions de référence » de ce type, qui est désigné par l'une des cinq classes suivantes : très bon, bon, moyen, médiocre et mauvais.

Les conditions de référence sont les conditions représentatives d'une eau de surface pas ou très peu influencée par l'activité humaine :

- les éléments de qualité « biologiques » s'intéressent aux organismes aquatiques présents dans la masse d'eau (algues poissons, invertébrés), Les éléments biologiques évalués autours du projet global Cigéo sont l'Indice biologique invertébrés (IBG-DCE ou I2M2 depuis 2018) et l'indice biologique diatomées (IBD) ;
- les éléments « physico-chimiques » s'intéressent aux relevés des paramètres généraux tels que le bilan en oxygène, l'acidification, la salinité et la température (cf. Tableau Annexe 5-1). En complément, quatre polluants spécifiques non synthétiques et 16 polluants synthétiques sont suivis pour établir l'état écologique (cf. Tableau Annexe 5-3) ;
- les éléments hydromorphologiques relatifs au régime hydrologique, c'est-à-dire dépendant des quantités et dynamique des cours d'eau, des échanges avec les masses d'eau souterraines, des temps de concentrations) et des facteurs géomorphologiques ont été abordés sur des bases documentaires et avec des observations de terrain.

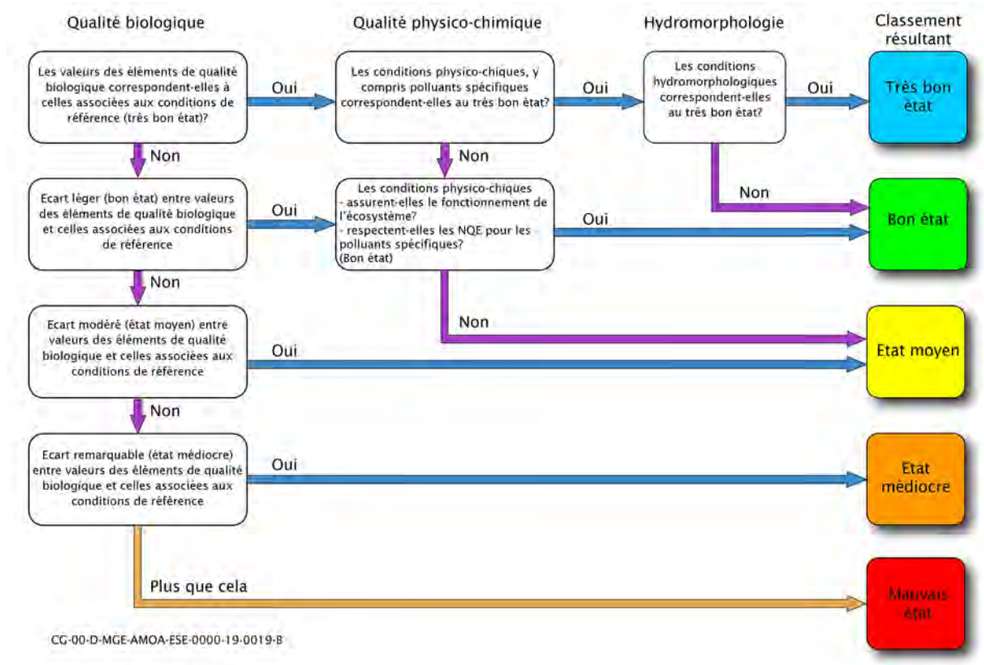


Figure 5-7 Règles de détermination de l'état écologique des masses d'eau superficielles [20]

[20] Source : « Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surfaces continentales », mars 2016, Ministère de l'Environnement de l'Énergie et de la Mer (81).

b) L'état chimique

L'état chimique d'un cours d'eau est établi par comparaison des valeurs mesurées *in situ* à des normes de qualité environnementales (NQE) de 45 substances visées par la directive cadre sur l'eau (58), La liste de ces 45 substances et leurs normes de qualité environnementales sont indiquées dans le tableau annexe 5-2.

Ces normes de qualité environnementale sont exprimées en valeur moyenne (NQE_MA) ou en valeur maximale (NQE-CMA), L'objectif de « bon état chimique » est atteint lorsque les concentrations de ces substances mesurées dans le cours d'eau ne dépassent pas les NQE, L'agrégation de ces deux valeurs et leur comparaison aux limites de quantification analytiques permettent de déterminer la classe d'état par paramètre, puis la classe d'état chimique.

Il existe deux niveaux d'état : bon (bleu) et mauvais (rouge),

L'état des masses d'eau a été caractérisé par Eurofins, ou un laboratoire partenaire, à l'aide d'un outil informatique développé pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie : le logiciel S3R.

5.1.3.4.2 Données utilisées

L'état des masses d'eau présentées dans l'état initial est issu du dernier état des lieux 2019 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands approuvé par le comité de bassin le 4 décembre 2019 (82) et pour le bassin Rhin-Meuse, en prévision du SDAGE 2022-2027.

Ces données sont précisées localement sur certains cours d'eau au droit du centre de stockage Cigéo. Les résultats, issus du réseau de suivi des eaux superficielles de l'Andra (OPE) mis en place en 2011, sont indiqués pour les années 2014, 2015, 2017, 2018 et 2019. Comme pour les données des agences de l'eau, les données acquises par Andra respectent les méthodes et les règles d'évaluation de l'état des masses d'eau fixées par l'arrêté du 25 janvier 2010 dans sa version en vigueur (78). Les prélèvements des échantillons, leurs analyses ainsi que le traitement des données suivent les normes et recommandations françaises définies ci-dessous , elles sont comparables avec celles acquises par les agences de l'eau. .

La liste des laboratoires indépendants accrédités étant intervenus pour les prélèvements et les analyses d'eau réalisés par Andra figure dans le tableau 5-8.

Tableau 5-8 Liste des laboratoires indépendants accrédités étant intervenus pour les prélèvements et les analyses d'eau

Année	Micropolluants	Autres paramètres
2014	Synlab	Aspect environnement
2015	Synlab	Aspect environnement
2017	Eurofins	Eurofins
2018	Eurofins	Eurofins
2019	Eurofins	Eurofins

a) Pour les prélèvements d'eau (EAUX)

Les prélèvements d'eau sont réalisés par des laboratoires extérieurs accrédités qui mettent en œuvre les normes et guides suivants :

- NF EN ISO 5667-6 de 2016 (83) qualité de l'eau – échantillonnage – Partie 6 : guide général pour l'échantillonnage des rivières et des cours d'eau ;
- FD T 90-523-1 de 2019 guide de prélèvement (84) pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement – Partie 1 : prélèvement d'eau superficielle ;
- guide technique de l'Agence de l'eau Loire Bretagne (85) : guide technique d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques - Agence de l'eau Loire Bretagne, novembre 2006 (en absence de guide à l'Agence de l'eau Seine Normandie).

Les prélèvements d'eau sont effectués au niveau de chaque station, face au courant à une profondeur voisine de 30 centimètres dans une zone de mélange des eaux afin d'être les plus représentatifs possible de la qualité du cours d'eau. En cas de non-accessibilité au lit du cours d'eau, notamment en raison d'une profondeur ou d'un courant trop important, les prélèvements sont effectués depuis un pont à l'aide d'un seau propre ou depuis la berge à l'aide d'une perche de prélèvement.

b) Prélèvement de sédiments (SED)

Les sédiments ont été prélevés une fois par an sur les stations dites permanentes (toujours en eau) en fin d'étiage afin de maximiser les chances d'obtenir des sédiments fins. Les conditions météorologiques au moment de chaque prélèvement ont été relevées. Les sites de prélèvements sont les mêmes que ceux du suivi des eaux. Afin d'obtenir un échantillon représentatif de chaque site, trois points au minimum ont été prélevés de la rive gauche à la rive droite du cours d'eau pour composer ensuite un échantillon.

Les échantillons sont ensuite acheminés au laboratoire accrédité COFRAC ou ils sont préparés pour analyse. Les analyses chimiques se font ensuite sur les sédiments tamisés à 2 µm et les résultats sont rendus en teneurs en poids sec.

c) Prélèvement des communautés biologiques (BIO)

Depuis 2009, l'Agence de l'eau Seine Normandie n'applique plus l'indice IBGN, mais l'IBG-DCE. En effet, l'IBGN ne répond pas pleinement aux exigences de la directive en termes de prélèvement et de détermination. L'OPE applique donc également cet indice, lequel est conforme aux exigences européennes (DCE) (58) et permet une estimation plus fine de la qualité des milieux naturels (normes NF T90-333 de 2016 (86) et XP T90-388 de 2015 (87)).

Par ailleurs, dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), l'université de Lorraine a développé un nouvel indice concernant le compartiment « invertébrés benthiques » en cours d'eau : l'Indice Invertébrés Multi-Métrique (I2M2), en collaboration avec l'IRSTEA et avec la coordination du ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie ainsi que de l'ONEMA. Cet indice doit permettre d'évaluer de manière fiable et performante l'état écologique des cours d'eau français.

Une campagne hydrobiologique a été menée en période de basses eaux en avril, juin et août 2019. Des indices biologiques de type I2M2 et IBD ont ainsi été réalisés sur 16 stations.

Les raisons de ce changement de méthode sont que d'une part, la réalisation de l'IBGN peut conduire parfois à échantillonner des habitats peu abondants dans le cours d'eau alors que la DCE requiert que l'indice soit représentatif de la station. D'autre part, l'IBGN est basé sur la sensibilité des taxons à la pollution et leur diversité alors que la DCE demande que soient évaluées l'abondance et la composition des invertébrés.

Les bio indicateurs développés pour l'étude des milieux aquatiques sont des indicateurs constitués par un groupe d'espèces ou un groupement végétal dont la présence renseigne sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement, ou sur l'incidence de certaines pratiques sur la qualité de l'écosystème considéré. Ainsi, toute modification de la composition des communautés vivantes hébergées par un milieu aquatique est la preuve d'une perturbation subie par l'écosystème. Parmi ces bio indicateurs, deux compartiments sont particulièrement étudiés :

- les invertébrés benthiques au travers de l'IBG-DCE (indice biologique global compatible avec la directive cadre sur l'eau) ou I2M2 (Indice invertébrés multimétrique) depuis 2018. Cette méthode standardisée est utilisée en hydrobiologie afin de déterminer la qualité biologique globale d'un cours d'eau. La méthode utilise l'identification des différents macro invertébrés d'eau douce présents sur un site pour calculer une note. Cette note est basée sur la présence ou l'absence de certains taxons bio indicateurs polluo-sensibles (qui tendent à disparaitre sous l'effet d'une altération de la qualité du milieu) ainsi que sur la richesse faunistique globale du site (biodiversité) ;
- les diatomées épilithiques au travers de l'IBD (Indice biologique diatomées). Les diatomées sont des algues brunes unicellulaires microscopiques qui colonisent notamment la surface des pierres des cours d'eau. Essentiellement sensible à la composition physico-chimique des eaux, chaque espèce présente une capacité

propre à supporter différents paramètres comme les concentrations de matières organiques et de nutriments (azote et phosphore).

Ces prélèvements sont mis en œuvre une fois par an selon des normes et des guides. Néanmoins, la réalisation de tous ces prélèvements est très fortement contrainte par les conditions hydrologiques. En période d'assec, ils ne sont pas réalisables. Le nombre de prélèvements annuels est donc variable.

Pour l'IBG-DCE les documents appliqués sont :

- circulaire DCE 2007/22 en date du 11 avril 2007 (88) et l'arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (80) ;
- norme NF T90-333 (septembre 2016 (86)) « *Qualité de l'eau – Prélèvement des macro invertébrés aquatiques en rivières peu profondes* » et la norme complément XP T 90-388 (juin 2010) (87) « *Qualité de l'eau - Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau* » ;
- fascicule de documentation FD T90-733 (septembre 2017) « Qualité de l'eau : guide d'application de la norme NF T 90-333:2016 de 2017 (89) (Prélèvement des macro invertébrés aquatiques en rivières peu profondes) » ; Indice Biologique Global DCE compatible XP T90-333 de 2012 (90), XP T90-388 de 2015 (87) ;
- norme XP T90-388 (juin 2010) « Qualité de l'eau (87) : traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro invertébrés de cours d'eau » ;
- guide d'application GA T 90-788 (mars 2015) « Qualité de l'eau : guide d'application de la norme expérimentale XP T 90-388 (Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau (87)) » ;
- programme 100-3 du COFRAC « Analyses biologiques des milieux aquatiques » (91).

Pour la détermination de l'IBD, les laboratoires ont appliqué :

- NF T 90-354) (92) qualité de l'eau : détermination de l'Indice biologique Diatomées (IBD) ;
- NF EN 14407 qualité de l'eau (93) : guide pour l'identification et le dénombrement des échantillons de diatomées benthiques de rivières, et leur interprétation ;
- NF EN 13946) (94) qualité de l'eau : guide pour l'échantillonnage en routine et le prétraitement des diatomées benthiques de rivières ;
- Programme 100-3 du COFRAC « Analyses biologiques des milieux aquatiques » (91).

d) Définition de l'IPR (Indice poisson rivière) comme indice de qualité des cours d'eau

La définition de l'IPR est celle de l'arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (79). Cet indice est applicable sur des cours d'eau pérennes et ne convient pas sur ceux très fréquemment en assec ou présentant des pertes et résurgences sur des tronçons hectométriques à kilométriques.

Le site Eaufrance précise que l'indice poisson rivière (IPR) consiste globalement à mesurer l'écart entre la composition du peuplement sur une station donnée, observée à partir d'un échantillonnage par pêche électrique et la composition du peuplement attendue en situation de référence, c'est-à-dire dans des conditions pas ou très peu modifiées par l'homme. Ainsi, l'observation des poissons constitue un moyen d'évaluer l'état de l'environnement aquatique.

e) Détermination des caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau

La description des caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau s'appuie sur :

- le système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (Syrah-ce) : un système d'aide à la décision qui vise à identifier le risque d'altération hydromorphologique et à évaluer l'inhérente dégradation de l'« état écologique », *via* une approche par tronçon de cours d'eau. Le système comprend deux types de données :
  - ✓ une composante géographique et cartographique permettant l'évaluation des pressions s'exerçant sur les cours d'eau et réalisée à partir de données disponibles à l'échelle nationale ;
  - ✓ une composante statistique et probabiliste permettant l'évaluation des risques d'altération hydromorphologique à partir des pressions ;
- les données issues des stations du réseau de suivi de l'Andra (OPE).

Les données hydromorphologiques disponibles ont été compilée et présentés sous forme de synthèse par cours d'eau ou tronçons homogènes de cours d'eau, avec :

- la largeur du cours d'eau ;
- la profondeur du cours d'eau ;
- le colmatage ;
- le faciès ;
- les caractéristiques des berges ;
- la présence de végétation aquatique ;
- la diversité du substrat.

5.1.3.4.3 Stations

Le réseau de suivi de la qualité des eaux de surface de Andra comporte 23 points de suivis répartis sur sept cours d'eau. Leurs localisations sont présentées sur la figure 5-8.

Pour la détermination de l'IPR, des pêches électriques ont été réalisés comme décrit au chapitre 6.1.4.7 du présent volume.

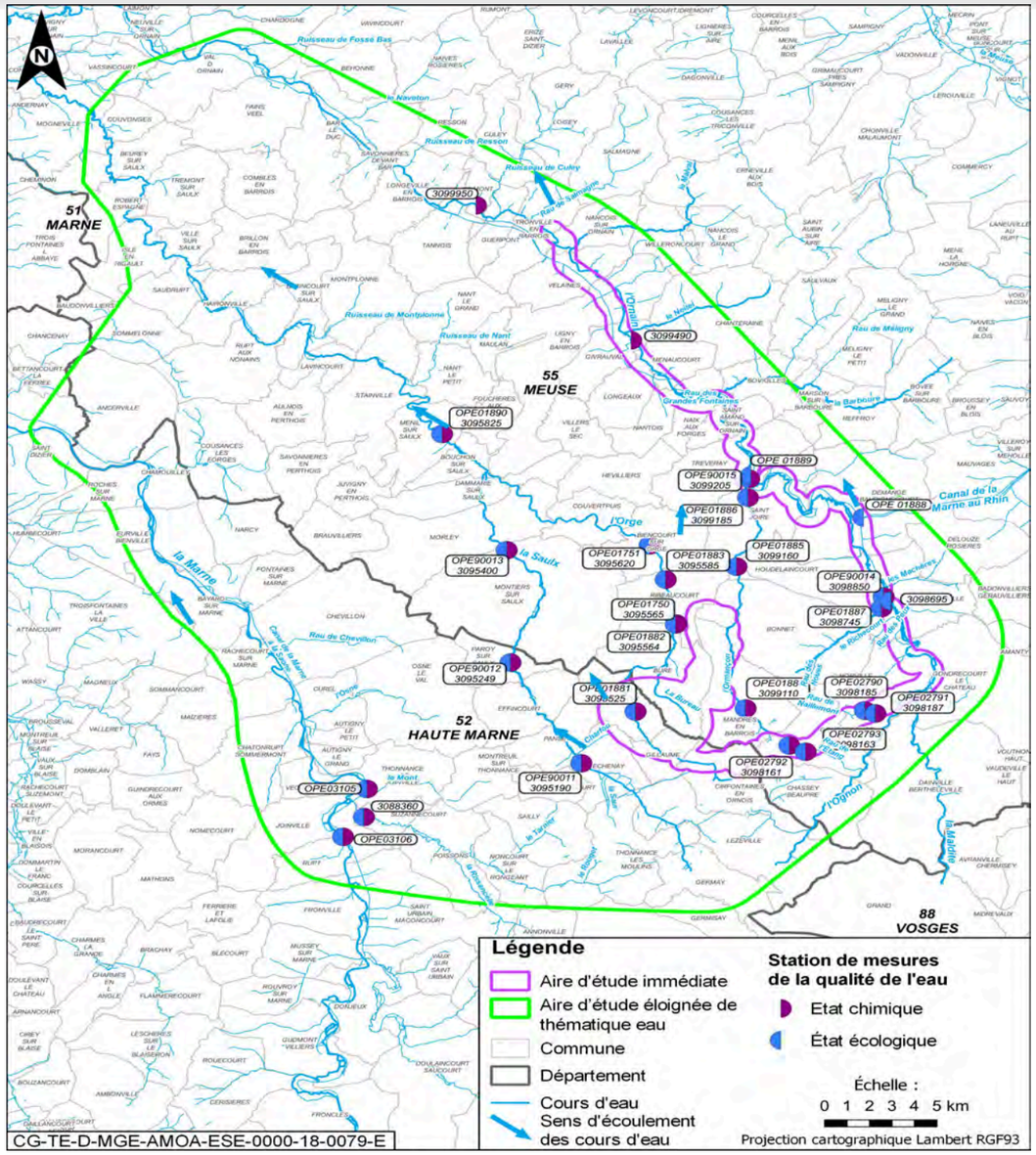


Figure 5-8 *Carte des stations de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement pour les prélèvements et les analyses qualitatives des eaux de surface*

À ces données s'ajoutent des données issues de la base de données de l'Agence de l'eau Seine Normandie (Qualit'Eau). Le réseau de suivi de la qualité des eaux superficielles Andra a été exploité en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine Normandie et les données acquises par l'Andra sont comparables à celles de l'Agence de l'eau. Certaines stations disposent donc de la double codification OPE/AESN, d'autres uniquement de la codification OPE ou Agence de l'eau.

Les prélèvements sont réalisés par des prestataires à une fréquence maximale de 12 interventions par an.

Les paramètres analysés sont les suivants :

- eau : physico-chimie, Ions majeurs, micropolluants, production végétale ;
- sédiments : physico-chimie, micropolluants, granulométrie ;
- biologie : indice biologique global compatible avec la directive cadre sur l'eau (IBG-DCE), indice biologique diatomées (IBD), indice invertébrés multi-métrique (I2M2)[21].

Tableau 5-9 *Liste des sondes et paramètres mesurés dans le réseau de suivi continu de la qualité des eaux de surface de 2011 à 2017*

Sonde	Paramètre	Principe de mesure
Hydrolab DS-5	Température, pH, conductivité à 25 °C, oxygène dissous, saturation en oxygène dissous, chlorures, turbidité	Thermo-résistance, électrode de verre, cellule à quatre électrodes de graphite, luminescence, calcul, électrode sélective, néphélométrie
Algae Torch	Chlorophylle totale, cyanobactéries, turbidité, température	Fluorescence, fluorescence, réflexion de la lumière
ISA-GO	Carbone organique, nitrates	Absorbance UV visible pour les deux
EnvoroFlu-HC	HAP	Fluorescence

5.1.3.4.4 Programme analytique pour les paramètres conventionnels

Le nombre de prélèvements par station est reporté dans le tableau 5-10 pour le bassin versant de La Marne, dans le tableau 5-11 pour le bassin versant de La Saulx et dans le tableau 5-12 pour le bassin versant de l'Ornain.

La position hydrologique de chaque point de mesures est signalée par rapport au projet global Cigéo. Ces points encadrent les futures opérations du projet global Cigéo.

La fréquence d'échantillonnage a été renforcée en 2017 et les prélèvements biologiques ont été étendus aux cours d'eau intermittents.

La prise d'eau d'Houdelaincourt est également considérée dans le programme analytique car il s'agit d'un vecteur potentiel de pollution de l'Ornain vers le canal. Elle se trouve à l'aval de l'installation terminale embranchée et de la ligne ferroviaire n° 027000. Les prises d'eau de Saint-Joire, de Naix-aux Forges, de Tannois, etc. se trouvent plus à l'aval sur l'Ornain et sont également concernées par de la ligne ferroviaire n° 027000. Celle de Saint-Joire est concernée par la confluence de l'Ormançon et de l'Ornain en position aval de la zone puits et de la zone des verses. La liste des paramètres mesurés est reportée en annexe 5 du présent volume.

[21] L'indice invertébrés multi-métrique I2M2 remplace l'IBG-DCE depuis l'arrêté du 27 juillet 2018 (80).

Tableau 5-10 Bassin versant de La Marne - Fréquence de prélèvement réalisé par l'Andra (OPE) sur les stations suivies

Cours d'eau	Code	Position/projet global	Nombre de prélèvements réalisés par station																	
			2014			2015			2017			2018			2019			Total		
			EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO
La Marne	OPE 03105	Amont							4		1				5		1	9		2
	OPE 03106	Aval							4		1				3		1	7		2

EAUX : prélèvement d'eau ; SED : prélèvement de sédiments ; BIO : prélèvement des communautés biologiques

Tableau 5-11 Bassin versant de La Saulx - Fréquence de prélèvement réalisé par l'Andra (OPE) sur les stations suivies

Cours d'eau	Code	Position /projet global	Nombre de prélèvements réalisés par station																	
			2014			2015			2017			2018			2019			Total		
			EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO
Orge	OPE 01750	Aval ZD, verses	4			5			5		1	5			6			25		1
	OPE 01751	Aval ZD, verses	4			4			10	1	1	11	1	1	9	1	1	38	3	3
	OPE 01881	Aval ZD, RTE	4			5			9	1	1	7	1	1	8	1	1	33	3	3
	OPE 01882	Aval ZD, verses	4			5			3		1	5			5			22		1
	OPE 01883	Aval ZD, verses	4			5			5		1	6			5			25		1
Saulx	OPE 01890	Aval ZD, ZP	6	1		6	1		10	1	1	9	1	1	8	1	1	39	5	3
Saulx	OPE 90011	Amont ZD, RTE	6	1	1	6	1	1	10	1	1	12	3	1	12	3	1	46	9	5
	OPE 90012	Aval ZD, RTE	6	1	1	6	1	1	10	1	1	12	3	1	12	3	1	46	9	5
	OPE 90013	Aval ZD	6	1	1	6	1	1	10	1	1	12	3	1	12	3	1	46	9	5

EAUX : prélèvement d'eau ; SED : prélèvement de sédiments ; BIO : prélèvement des communautés biologiques

Tableau 5-12 Bassin versant de l'Ornain - Fréquence de prélèvement réalisé par Andra (OPE) sur les stations suivies

Cours d'eau	Code	Position /projet global	Nombre de prélèvements réalisés par station																	
			2014			2015			2017			2018			2019			Total		
			EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO
Ormançon	OPE 01884	Amont ZP, RTE	4			4			10		1	8		1	7	1	1	33	1	3
	OPE 01885	Aval	4			4			5			6		1	7	1	1	26	1	2
	OPE 01886	Amont 27000	4			4			5		1	4			5			22		1
Richecourt	OPE 01887	Amont 27000	4			4			3		1	3			5			19		1
Canal de la Marne au Rhin	OPE 01888	Aval 27000	5			4					1							9		1
	OPE 01889	Aval 27000	5			4					1							9		1
Ruisseau du Naillemont	OPE 02790	Aval ITE				6			4		1	6	1	1	5	1	1	21	2	3
	OPE 02791	Amont ITE				6			4	1	1	4	1	1	5	1	1	19	3	3
Ruisseau de l'Étang	OPE 02792	Aval ITE				6			5	1	1	5	1	1	6	1	1	22	3	3
	OPE 02793	Amont ITE				6			5		1	5	1	1	6	1	1	22	2	3
Ornain	OPE 90014	Aval 27000	6	1	1	6	1	1	10	1	1	12	1	1	12	3	1	46	7	5
	OPE 90015	Aval ZP, verses	6	1	1	6	1	1	10	1	1	12	3	1	12	3	1	46	9	5
	03099950	Aval 27000																		
	03099490	Aval 27000	13		1	40												43		1

EAUX : prélèvement d'eau ; SED : prélèvement de sédiments ; BIO : prélèvement des communautés biologiques

5.1.3.4.5 Programme analytique pour les paramètres non-conventionnels

Comme les méthodes de mesures classiques ne permettent pas d'obtenir des valeurs significatives dans l'eau (les résultats montrent des niveaux inférieurs aux seuils de détection), des bio-indicateurs ont été prélevés pour pallier cette limite. En effet, les bio-indicateurs concentrent les polluants (cas de certains végétaux par exemple), ou rendent compte d'un niveau d'activité moyen sur de grandes distances ou de longues périodes (cas des poissons). Les prélèvements et mesures de sédiments permettent aussi de connaître les radionucléides présents dans l'eau qui s'adsorbent et s'accumulent sur ces matériaux.

a) Analyse des éléments par spectrométrie gamma

Des mesures par spectrométrie gamma ont été réalisées afin de donner une indication qualitative et quantitative des radionucléides émetteurs gamma naturels et artificiels présents dans l'échantillon (^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}Ag, ^{54}Mn, ^{124}Sb, ^{125}Sb, ^{154}Eu, ^{106}Rh, ^{241}Am, ^{131}I), Toutes les matrices sont concernées par les analyses par spectrométrie gamma.

Les éléments transuraniens ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am sont mesurés par spectrométrie alpha. La radiochimie précédent ces mesures est longue, aussi sont-elles conduites sur un nombre limité d'échantillons, en priorité les sédiments, les bryophytes (piégeage des matières en suspension) et les poissons (matrices sensibles du point de vue de la radioprotection). Les mesures sur les sédiments permettent d'évaluer les niveaux moyens stockés sur le fond des cours d'eau et celles sur les poissons permettent une estimation du transfert à la chaîne trophique. Les rapports ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu et ^{241}Am/$^{238+240}$Pu précisent l'origine de ces radionucléides. Le ^{210}Po (élément de filiation de l'^{238}U et descendant direct du ^{210}Pb et du ^{210}Bi) est présent à l'état de traces dans le milieu naturel. Il est mesuré par spectrométrie alpha sur les sédiments, les mousses et les poissons (muscles et viscères).

Des analyses par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP MS) ont également été réalisées afin de rendre compte des équilibres ou déséquilibres isotopiques des éléments de filiation au sein des chaînes des éléments radioactifs, en permettant le calcul de rapports de masse ou d'activité (^{234}U/^{238}U, ^{235}U/^{238}U et ^{238}U/^{232}Th).

b) Analyse du tritium (^{3}H) et du carbone 14 (^{14}C)

Dans l'eau, le tritium est présent sous forme libre et sous une forme liée à la matière organique. Le tritium libre, dont les valeurs sont très fluctuantes et peu représentatives du milieu ambiant moyen, n'a été recherché que dans les plantes aquatiques. Le tritium organiquement lié est mesuré par scintillation liquide pour les échantillons biologiques, c'est-à-dire les plantes et les poissons, après combustion et distillation avant scintillation liquide ou en mesurant l'^{3}He (descendant du ^{3}H) par spectrométrie de masse dans le cas des matrices abiotiques, en particulier les sédiments (faible teneur en matière organique).

Le ^{14}C est mesuré par scintillation liquide pour les plantes et les poissons et par spectromètre de masse par accélérateur (AMS) pour les sédiments.

Les différentes formes du tritium et de ^{14}C n'ont pas été recherchées dans les mousses aquatiques. En effet, les faibles quantités de matière en suspension en transit dans les cours d'eau de l'aire d'étude n'ont pas permis de quantifier ces éléments radioactifs au sein de cette matrice.

c) Mesure du strontium 90 (^{90}Sr)

Le ^{90}Sr, issu des retombées des essais atmosphériques, est détectable dans la plupart des matrices en couplant une radiochimie à un comptage bêta. Il a été recherché dans les sédiments, les phanérogames (plantes supérieures aquatiques) et les muscles des poissons.

5.1.3.5 Recensement des classements des cours d'eau pour les catégories piscicoles et les continuités écologiques

Le classement piscicole des cours est issu du décret n° 58-873 du 16 septembre 1958 modifié (95) déterminant le classement des cours d'eau en deux catégories, et notamment l'article 56 qui concerne le département de la Meuse.

Le référentiel de classement des cours d'eau pour la continuité écologique est l'arrêté préfectoral du 4 décembre 2012 (96) modifié au 7 mai 2017 du Préfet coordinateur de bassin Seine-Normandie qui établit deux listes de classements des cours d'eau sur lesquels tout ouvrage doit être géré.

5.1.3.6 Recensement des usages des eaux superficielles

Dans l'aire d'étude éloignée, le recensement des usages des eaux superficielles a été fait sur une base documentaire et/ou par des investigations de terrain pour les usages suivants :

- l'alimentation en eau potable.

  L'inventaire des usages a été réalisé par l'Andra avec recoupements d'informations et échanges avec l'agence régionale de la santé de la région Grand Est et les directions départementales des territoires des départements concernés ;
- les eaux de baignades.

  Le recensement des zones de baignades à l'aval des cours d'eau susceptibles d'être impactés par le projet a été réalisé à partir du site[22] ;
- les pisciculture ;
- les biefs industriels (usages pour la plupart obsolètes mais avec des aménagements pérennes) ;
- les autres usages divers.

  Le recensement des prélèvements d'eau de surface de la BNPE (Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau) a été consulté sur le site[23].

[22] http://baignades.sante.gouv.fr

[23] https://bnpe.eaufrance.fr/

5.2 Évaluation des incidences

5.2.1 Eaux souterraines

L'objectif est d'identifier les Incidences directes et indirectes, temporaires et permanentes, du projet sur la ressource en eau, en termes de quantité, qualité et in fine d'usage. Dans le cadre de cette étude, une partie de l'évaluation de ces incidences fait appel à des outils de modélisations afin notamment d'évaluer le comportement futur des unités hydrogéologiques locales (Calcaires du Barrois et Oxfordien) en fonction de différents scénarios climatiques ou d'aménagements du site et de le comparer aux simulations de référence.

5.2.1.1 Modélisations des incidences du centre de stockage Cigéo sur les eaux souterraines

Dès 2009, l'Andra a engagé un programme de modélisation hydrogéologique qui a conduit en 2012 au développement d'un modèle intégré région-secteur (couvrant l'ensemble du Bassin parisien) dans l'objectif de disposer d'un outil dédié à la représentation des écoulements souterrains et à la prévision du comportement du système aquifère à court, moyen et long terme. Ce modèle hydrogéologique est amené à évoluer progressivement en fonction des avancées scientifiques et de l'amélioration des connaissances de terrain. Il est par ailleurs conçu pour intégrer des échelles d'espace et de temps très étendues pour en garantir la robustesse et permettre de travailler sur des échéances long terme en phase avec les problématiques propres au projet global Cigéo.

Ce modèle de grande extension dont une description à date (décembre 2022) est présentée ci-après a déjà connu plusieurs phases d'amélioration qui ont notamment porté sur son schéma conceptuel (la façon dont les phénomènes sont appréhendés et représentés), son contenu physique (le modèle géologique qui constitue le support des écoulements) et son calage (qui en garantit la fiabilité et la représentativité pour prédire les évolutions futures du système) en référence aux données de terrain acquises jusqu'à ce jour.

Parallèlement au programme de modélisation dont les résultats permettent de mettre en lumière les besoins et pistes d'améliorations, sont définies et planifiées des campagnes des reconnaissances de terrain (sismique 3D, sondages, expériences de traçage) visant à disposer de données nouvelles et ciblées. De ce point de vue, l'amélioration du modèle doit être regardée comme le produit d'un processus itératif et interactif entre données et résultats.

Compte tenu de l'extrême complexité du sujet qui relève typiquement d'une action de recherche et développement (unique en son genre), le modèle intégré région-secteur n'était pas encore suffisamment mature à l'échéance de certains dossiers réglementaires, en particulier pour la modélisation couplée des écoulements de surface et de subsurface dans l'aquifère des Calcaires du Barrois. Aussi, pour répondre à ce besoin, des modèles de secteur anticipés ont été utilisés pour proposer une approche enveloppe des impacts hydrogéologiques et hydrologiques du projet global Cigéo. Ces modèles développés selon une démarche et avec les outils de l'ingénierie sont au nombre de deux :

- le modèle dit des Calcaires du Barrois développé au moyen du logiciel Feflow ;
- le modèle dit de l'Oxfordien développé au moyen du logiciel Marthe.

Ce découpage découle de considérations hydrogéologiques qui amènent à admettre un découplage hydraulique entre un système aquifère superficiel (les Calcaires du Barrois) et un système aquifère plus profond (les calcaires de l'Oxfordien) permis par la présence de la série intercalaire très peu perméable des marnes du Kimméridgien.

À ce jour, les résultats du modèle initial (modélisation Feflow) des Calcaires du Barrois sont les seuls disponibles et sont donc utilisées pour alimenter le présent dossier. En revanche, les avancées sur le modèle intégré région-secteur permettent de disposer de résultats nouveaux qui viennent en remplacement des résultats initiaux présentés en 2020 dans l'étude d'impact de la déclaration d'utilité publique.

5.2.1.1.1 Modèle des Calcaires du Barrois

a) Construction et conditionnement du modèle numérique

Ce modèle développé avec le logiciel Feflow regroupe l'ensemble des formations des Calcaires du Barrois, depuis les Calcaires Cariés et Tachetés jusqu'aux Calcaires Sublithographiques. Il a été construit à partir des données géologiques disponibles en intégrant la fracturation qui affecte les unités stratigraphiques à proximité de la surface et augmente notamment la perméabilité des terrains.

Le domaine représenté s'étend sur une surface de 290 km² et inclut les limites de l'aquifère des Calcaires du Barrois et les bassins versants de la Saulx, de l'Orge, de l'Ormançon et la rive gauche de l'Ornain. La figure 5-9 donne une vue d'ensemble 3D du modèle considéré.

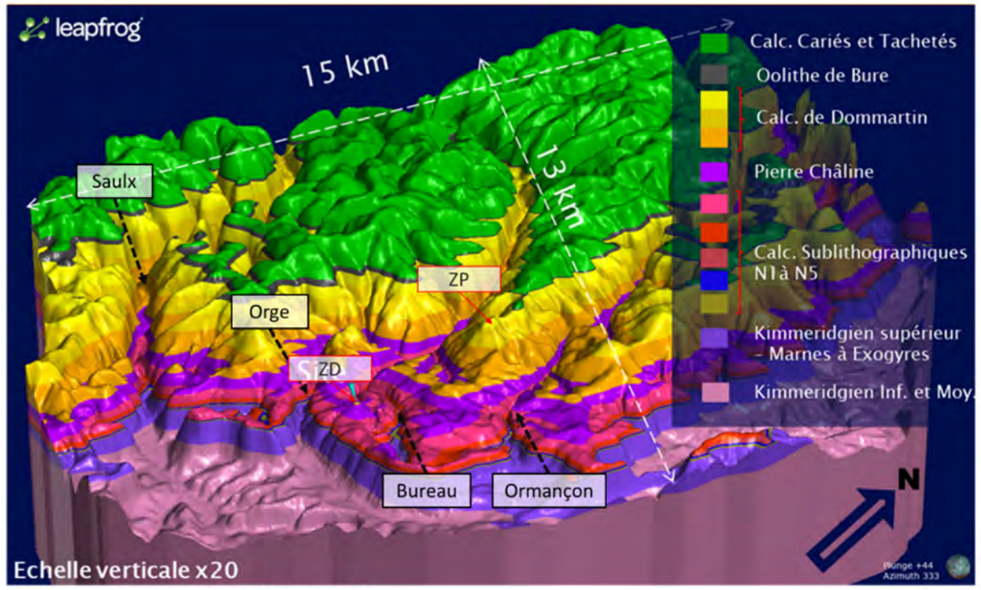


Figure 5-9 Extension et contenu géologique du modèle 3D

Le modèle est constitué de 30 couches numériques et de 450 000 nœuds. La discrétisation horizontale est fonction de la zone d'intérêt du modèle et la discrétisation verticale varie en moyenne de 2,5 mètres au sein d'une même couche numérique. Des conditions d'écoulement sont appliquées aux limites et à l'intérieur-même du modèle (cf. Figure 5-10).

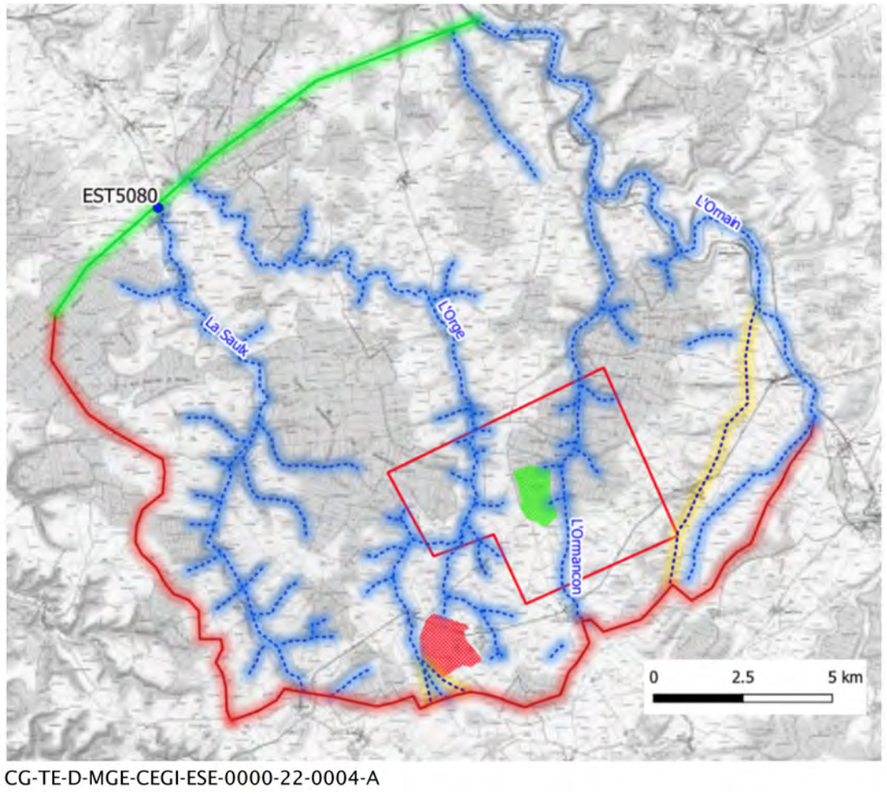


Figure 5-10 Cartographie des conditions aux limites définies pour le modèle hydrogéologique

Une condition de recharge spatialisée est appliquée sur l'ensemble des surfaces affleurantes. Cette condition permet de prendre en compte l'alimentation du système aquifère par l'infiltration d'une partie des précipitations (pluie nette). La loi de recharge considérée résulte d'un bilan hydrique établi à partir des données de précipitation et d'évapotranspiration potentielle de la station d'Houdelaincourt (55248001). Le cumul annuel moyen des précipitations est d'environ 845 mm pour une recharge annuelle moyenne estimée à 279 mm. En règle générale cette recharge se produit durant la période automne-hiver et le début du printemps, quand les précipitations sont significatives et l'évapotranspiration potentielle faible.

La prise en compte de cet apport par les précipitations ne suffit pas pour autant à expliquer le comportement hydrogéologique des Calcaires du Barrois. Une hypothèse complémentaire a été admise pour tenir compte des apports par les anciens réseaux hydrographiques très fracturés. En effet, les observations montrent qu'en période de basses eaux les niveaux piézométriques sont stabilisés alors que la recharge météorique est inopérante. Il a donc été considéré que ces anciens réseaux sont à l'origine d'apports d'eau différés dans le temps.

Par ailleurs, dans le contexte karstique du Barrois, l'aquifère peut être alimenté localement par des pertes locales ou diffuses des cours d'eau générant, par période, des tronçons en assecs (cf. Figure 5-11). La prise en compte de ces pertes karstiques a nécessité d'intégrer des flux entrants et des flux sortants du modèle et de considérer différents types de tronçons par l'intégration d'une routine de calcul qui permet de collecter i) les flux sortant le long d'un tronçon de rivière prédéfinie en situation hydrologique excédentaire ; ii) d'injecter les flux collectés par l'intermédiaire de débits imposés sur un tronçon injecteur prédéfini.

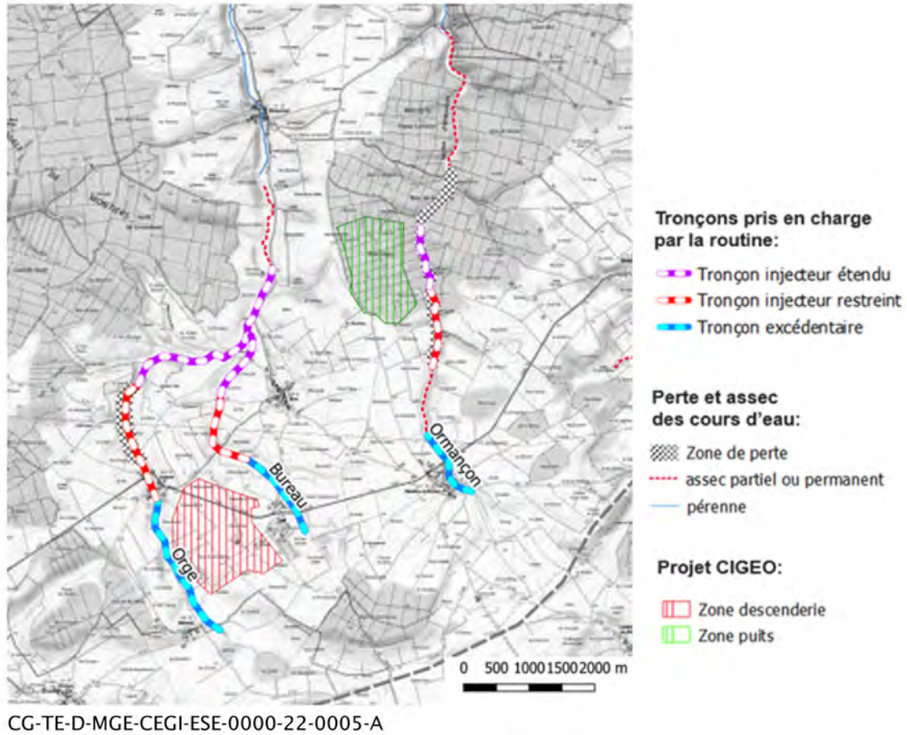


Figure 5-11 Tronçons excédentaires et injecteurs contrôlés par la routine de réinjection de flux

Les positions des tronçons excédentaires et injecteurs sont déterminées en cohérence avec la connaissance des zones d'alimentation des cours d'eau par l'aquifère et les zones de perte ou d'assecs temporaires (cf. Figure 5-11). Pour chaque cours d'eau, deux seuils de flux d'exhaure contrôlent le fonctionnement de la routine en réinjectant les flux sur un tronçon restreint ou en injectant les flux sur un tronçon étendu, ou encore en annulant l'injection :

- le premier seuil correspond à un intervalle de flux relatif à une situation d'étiage de la nappe ;
- le second seuil correspond à la situation où les flux sortants ne peuvent plus être réinjectés en aval dans les tronçons injecteurs, la nappe est en crue.

L'intervalle de flux entre ces deux seuils est représentatif des situations hydriques intermédiaires. La perméabilité le long des tronçons injecteurs est modifiée de manière à permettre de réinfiltrer les flux sortants amont.

b) Paramétrage du modèle

Les Calcaires du Barrois ont la particularité de constituer un aquifère fissuré et localement karstique donc très difficile à modéliser. Partant de ce constat l'approche a consisté à :

- assimiler l'aquifère à un milieu continu de porosité matricielle (défini par un maillage 3D décrivant cette structure poreuse) ;
- ajouter localement à l'ensemble des éléments discrets permettant de représenter des écoulements en conduits (1D : rivières, tunnels, puits et réseau karstiques) ou en fracture plane (2D : surfaces de ruissellement, plans de failles ou de fractures).

L'interaction entre les deux milieux s'opère par l'échange d'un débit entre le milieu matriciel et les fractures du domaine. C'est une approche mixte dite « double porosité/double perméabilité » mêlant circulations en milieu poreux et écoulements en fractures.

Il a été choisi de considérer le modèle comme un aquifère confiné pour reproduire les mises en charges rapides et fortes de l'aquifère. Ce choix a été dicté par les faibles valeurs d'emmagasinement estimées lors des tests de pompage (entre 1.10^{-5} et $5.10\text{-}4$ m^{-1}[1]).

Chaque formation du modèle géologique (cf. Tableau 5-13) est caractérisée par une perméabilité. Ces propriétés hydrodynamiques s'appuient sur des connaissances bibliographiques et de simulations disponibles au moment de la création du modèle (2016-2017), notamment pour la zone de fracture en zone descenderie.

La perméabilité des roches saines est homogène pour chaque horizon lithologique (N1, calcaire de Dommartin, etc.) et un coefficient d'anisotropie des perméabilités (Khorizontal/Kvertical) de 10 est retenu. La zone fracturée constitue le premier paramètre de calage. Elle est représentée par un champ de perméabilités hétérogènes mais considérées isotrope (Khorizontal = Kvertical). Le tableau 5-13 présente une synthèse des perméabilités des formations géologiques à l'issue du calage du modèle.

Tableau 5-13 Synthèse des perméabilités des formations géologiques à l'issue du calage

Formation		Perméabilité	
		Kh [m/s]	Kv [m/s]
Calcaires cariés et tachetés		1.00E-07	1.00E-08
Oolithe de Bure		1.00E-09	1.00E-10
Calcaires de Dommartin (Inf., Med., Sup)		5.00E-08	5.00E-09
Pierre Châline		1.00E-09	1.00E-10
Calcaires Sublithographiques	N5	2.00E-07	2.00E-08
	N4	1.00E-08	1.00E-09
	N3	7.00E-08	7.00E-09
	N2	1.00E-08	1.00E-09
	N1	4.00E-08	4.00E-09
Kimméridgien	Marnes à Exogyres	1.00E-10	1.00E-11
	Inférieur et Moyen	1.00E-12	1.00E-12
Zones fracturées	Min	3.00E-07	3.00E-07
	Moy	2.00E-04	2.00E-04
	Max	3.00E-03	3.00E-03

Les vallons secs sont représentés par des éléments 1D circulaires de 80 cm de diamètre (0,5 m^2). La loi d'écoulement appliquée est la loi de Darcy avec une perméabilité de $3{,}27.10^{-3}$ m/s. Les fractures sont ajoutées localement pour améliorer le calage. Elles permettent de simuler des écoulements en fracture ouverte sur joint stratigraphique (2D) ou en zone de diaclases (développement vertical, 3D) et de représenter les spécificités qui caractérisent le fonctionnement des Calcaires du Barrois.

La figure 5-12 représente une synthèse des informations hydrogéologiques des relations de l'Orge et de l'Ormançon avec le karst du Barrois : le caractère karstique des formations du Barrois induit un fonctionnement particulier des eaux de surface avec des :

- tronçons de cours d'eau caractérisés par des phénomènes de pertes importantes et des tronçons en assec permanent ou quasi permanent ;
- zones d'émergences plus ou moins pérennes qui contrôlent la fonction de drainage/alimentation des cours d'eau.

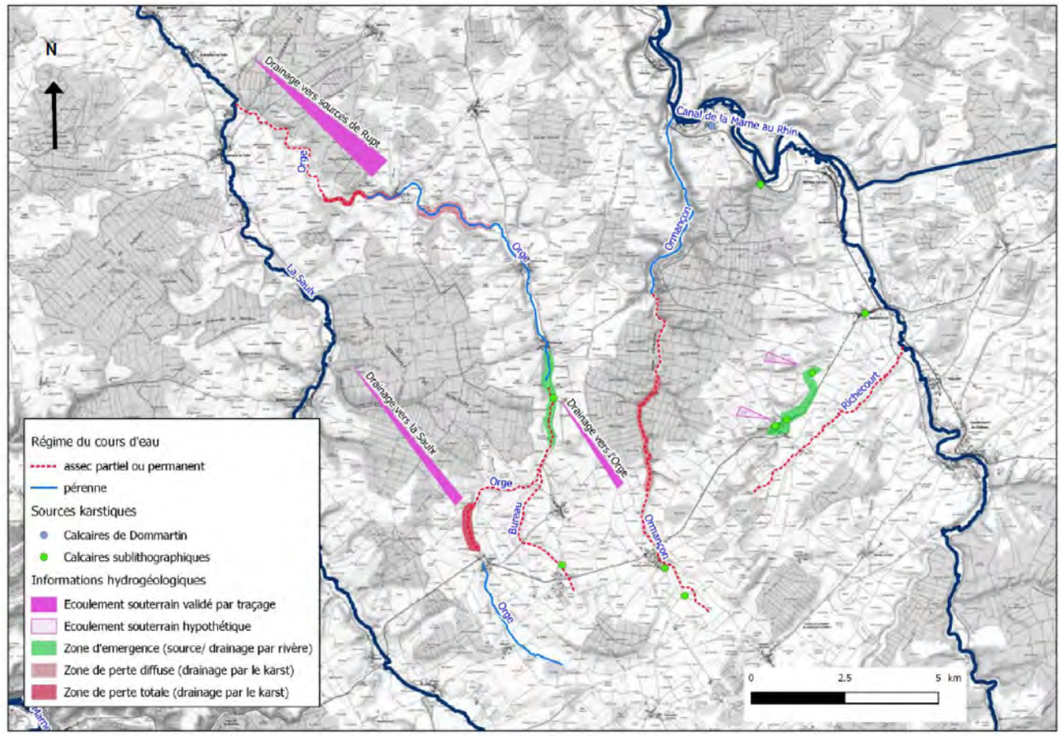
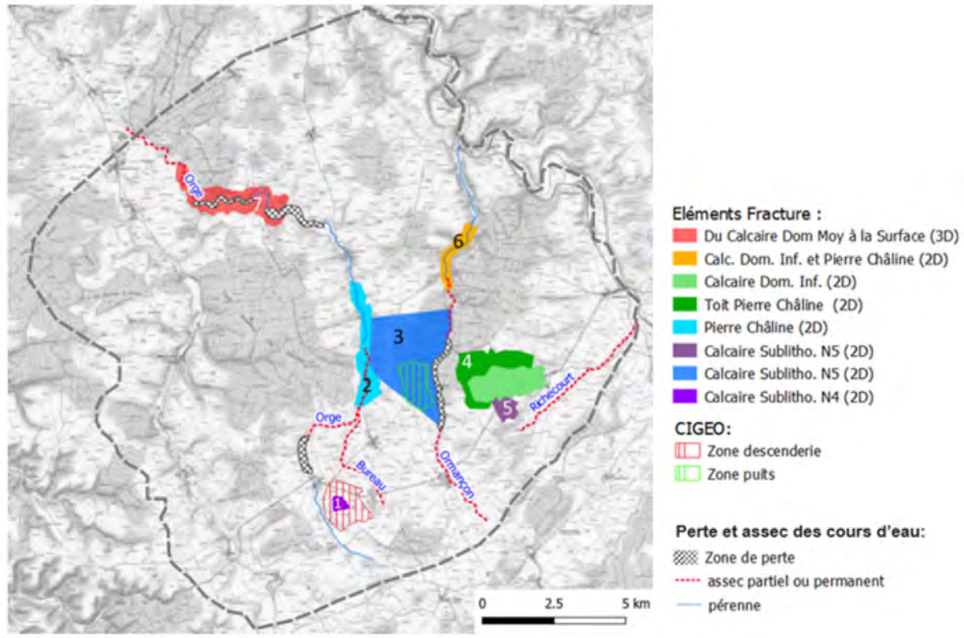


Figure 5-12 Synthèse des informations hydrogéologiques des relations de l'Orge et de l'Ormançon avec le karst du Barrois

Le modèle intègre ces éléments : la figure 5-13 présente la distribution spatiale et lithologique pour chaque fracture. Ces fractures coïncident avec certaines zones d'assec ou de pertes totales affectant les cours d'eau de l'Orge et de l'Ormançon. Chaque élément de fracture (éléments discrets) matérialisé sur la figure est caractérisé par des propriétés hydrauliques (cf. Tableau 5-14).



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0007-A

Figure 5-13 *Distribution spatiale et lithostratigraphique des éléments discrets de type fracture ouverte sur joint stratigraphique (développement horizontal 2D) ou de type diaclase (développement 3D)*

Tableau 5-14 *Propriétés hydrauliques des éléments discrets simulant l'écoulement en fracture*

Emplacement	Couche affectée	Loi d'écoulement	Épaisseur (m)	Perméabilité (m/s)
Zone descenderie	Calc. Sub. N4	Darcy	0,20	$6x10^{-3}$
Vallée de l'Orge/proche zone puits	Pierre Châline fracturée	Darcy	0,20	$1x10^{-3}$
Zone puits/entre l'Orge et Ormançon	Calc. Sub. N5	Darcy	0,20	$1x10^{-3}$
Rive droite de l'Ormançon	Toit Pierre Châline et Calc. Dom. Inf.	Darcy	0,20	$1x10^{-2}$
Rive droite de l'Ormançon	Calc. Sub. N5	Darcy	0,3	$1x10^{-2}$
Vallée de l'Ormançon	Calc. Dom. Inf. et Pierre Châline	Darcy	0,20	$1x10^{-1}$
Vallée de l'Orge	Calc. Dom. Moy. à Sup.	Manning-Strickler	Rayon = 0,4	R = 1 [m1/3/s]

c) Calage du modèle

La phase de calage permet d'ajuster un jeu prédéterminé de paramètres de manière à reproduire au mieux les données de référence. Le modèle a ainsi été calé en régime transitoire à partir des données journalières disponibles sur une sélection de 30 piézomètres de novembre 2011 à octobre 2018 (sept cycles hydrologiques). À ce jeu de données s'ajoute la prise en compte de contraintes additionnelles que constituent les jaugeages en rivière et les débits des sources :

- la cohérence des transferts eaux de surface/eaux souterraines ainsi que le bilan global du modèle ;
- le respect des assecs en période d'étiage le long des cours d'eau.

Les paramètres de calages sont tout d'abord les perméabilités et l'emmagasinement spécifique. Puis, plusieurs processus d'optimisation sont lancés successivement pour affiner le calage et/ou tester différentes hypothèses concernant :

- la géométrie des fractures ;
- la position des drains ;
- la géométrie des vallons secs (position et cote) ;
- la recharge météorique.

Calcaires sublithographiques

Sur la zone descenderie et la zone puits, le modèle hydrogéologique calé reproduit de manière satisfaisante le comportement des calcaires sublithographiques :

- en période de hautes eaux, les montées et descentes des niveaux d'eau sont synchrones ;
- les amplitudes du signal piézométrique sont bien reproduites ;
- le caractère très réactif de la piézométrie sous l'effet de la recharge, avec localement des difficultés à reproduire la décroissance lente du niveau de base est marqué.

On retient aussi que localement, le modèle a tendance à surestimer les pics de crue ou, à l'inverse, les sous-estimer. Certains pics ne sont pas simulés du fait de l'absence d'une recharge correspondante en données d'entrée.

Le bilan de masse final (bilan des flux entrants et sortants du modèle) montre que les entrées d'eau du modèle sont assurées, approximativement, pour moitié par la recharge pluviométrique et, pour le reste, par l'injection d'eau au droit des vallons secs. Les sorties d'eau ont lieu principalement au droit des cours d'eau drainants et, en quantité moindre, à travers la limite nord de l'aquifère représentée par un potentiel imposé (10 % du flux total). Le bilan des entrées/sorties du modèle numérique montre une erreur d'1 %.

Calcaires de Dommartin

L'unité aquifère des calcaires de Dommartin a une extension plus limitée : la limite d'affleurement des calcaires de Dommartin n'apparaissant qu'à partir de la zone puits. De plus, l'unité aquifère simulée (calcaire de Dommartin) présente une saturation variable sur une frange de 2 km à 5 km à partir de la limite d'affleurement des calcaires de Dommartin :

- à l'étiage les isopièzes inclus dans cette zone représentent davantage des hauteurs piézométriques situées dans la Pierre Châline ou dans les calcaires sublithographiques que les niveaux d'eau dans les calcaires de Dommartin ;
- en hautes eaux ces niveaux peuvent représenter des niveaux de nappes perchées temporaires.

Il est important de préciser que le nombre de piézomètres avec des chroniques piézométriques exploitables pour le calage est relativement faible. Pour certains de ces piézomètres le calage montre une certaine adéquation entre les niveaux mesurés et simulés notamment en matière de dynamique de crue/décrue, bien que les pics soient surestimés ou sous-estimés (cf. Figure 5-14). Pour d'autres le calage est moins bon.

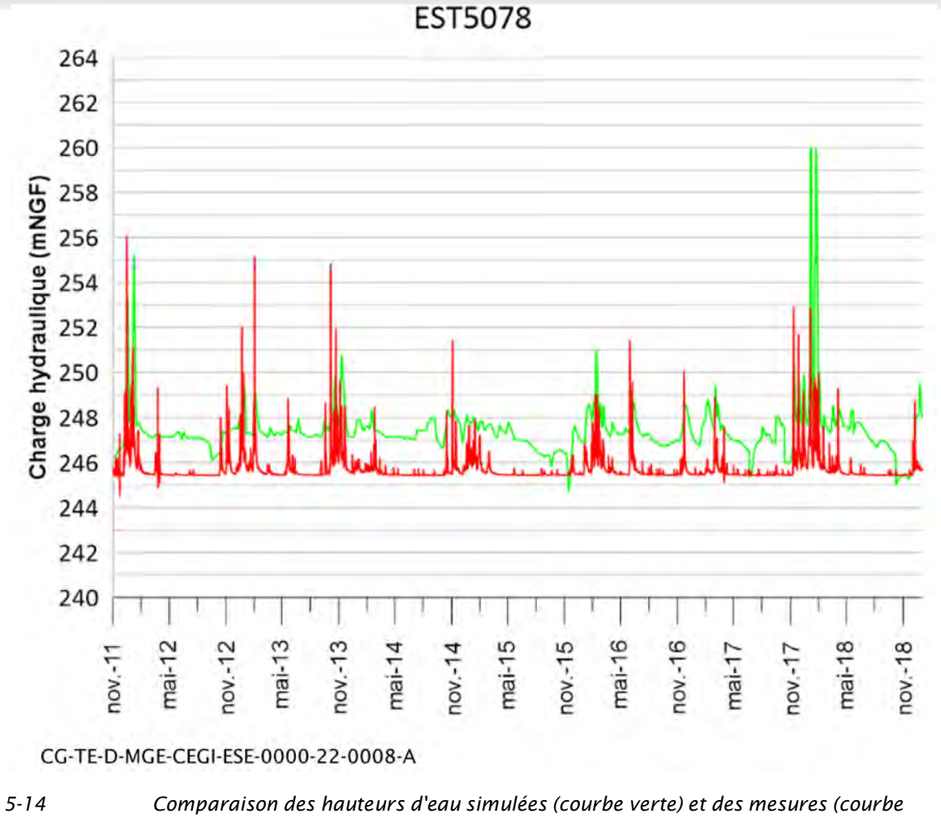


Figure 5-14 *Comparaison des hauteurs d'eau simulées (courbe verte) et des mesures (courbe rouge) - au piézomètre EST5078 localisé au nord-ouest du modèle*

Ce fonctionnement coïncide avec les analyses des chroniques piézométriques menées pour caractériser les réponses piézométriques pour les Calcaires de Dommartin. En effet, sur les dix chroniques analysées, trois grands types de dynamique peuvent être identifiés : on distingue les piézomètres avec un niveau de base, les piézomètres localisés dans l'unité des calcaires de Dommartin non saturés mais qui répondent aux précipitations (dont certains uniquement durant les hautes eaux) et les piézomètres jamais ou très ponctuellement en eau.

d) Évaluation de l'impact des installations de surface de Cigéo

Objectif et cadrage

L'objectif des simulations est d'évaluer le comportement futur des unités hydrogéologiques locales en fonction de différents scénarios climatiques ou d'aménagements du site et de le comparer aux simulations de référence à travers i) les différences de charges piézométriques qui permettent d'évaluer les rabattements/remontées induits par le projet ; ii) les différences de bilan en eau le long des rivières pour quantifier les incidences du projet sur les échanges nappes/rivières.

Trois types de simulations sont effectuées, à savoir :

- deux cycles hydrogéologiques correspondant respectivement à une année « humide » (soit l'année 2013 avec plus de 90 jours de précipitations avec un cumul annuel des précipitations supérieur à 1 000 mm) et à une année sèche (soit l'année 2015 avec plus 70 jours de précipitation avec un cumul annuel des précipitations de 700 mm). L'évolution temporelle et spatiale de l'impact, ainsi que ses effets cumulatifs, est prise en compte dans l'évaluation ;
- un évènement ponctuel avec l'atteinte d'un niveau caractéristique HE (hautes eaux) et sa décrue complète.

Intégration des installations dans le modèle

Le modèle intègre en zone descenderie et en zone puits, l'ensemble des ouvrages (LSF et bassins) et aménagements (ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine et ses tranchées drainantes et ouvrages de réinfiltration, plateforme du terminal ferroviaire et chemin d'amenée) présents dans le Barrois. En zone descenderie, les ouvrages inscrits dans l'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine n'ont pas été pris en compte dans la modélisation car ils seront « isolés » de la nappe grâce à cet aménagement.

Recharge météorique et imperméabilisation

Une recharge identique à celle du modèle de référence est appliquée au modèle de simulation du projet. Les zones imperméabilisées correspondant à des voiries, des plateformes et des ouvrages et la surface de l'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine (ZD) sont caractérisées par des recharges météoriques nulles. Pour les zones terrassées (non compactées, non imperméabilisées), il est considéré une réduction de la recharge de 5 %.

e) Limites du modèle actuel

Limites du modèle actuel

Le modèle hydrogéologique utilisé actuellement et présenté ci-dessus pour le Barrois au droit des sites de surface du centre de stockage Cigéo est basé sur le principe de conceptualisation du milieu poreux continu équivalent. Il n'intègre donc pas explicitement, ou de façon très simplifiée, la nature karstique des aquifères locaux présents notamment dans les calcaires sub-lithographiques au droit de la zone descenderie, ainsi que les hétérogénéités spatiales liées aux épikarsts de surface dans la succession d'aquifères plus ou moins indépendants (du fait des échanges entre les eaux de surfaces et les eaux de sub-surface) séparé des couches semi-imperméables plus ou moins continues (en raison de leurs faibles épaisseurs). Le modèle présente donc un caractère enveloppe et général et son utilisation présente donc intrinsèquement, en regard des échelles de description des phénomènes hydrauliques, des limites qui sont développées dans ci-dessous.

Calage des piézométries disponibles

Comme le montre l'exemple de la figure 5-15, les charges calculées au niveau de certains piézomètres de la zone puits ne reproduisent pas correctement les variations mesurées. Ce manque de représentativité du modèle est possiblement lié à l'approximation faite quant à la représentation du fonctionnement karstique des calcaires sublithographiques et de Dommartin, représentation qui ne correspond plus à la conceptualisation actuelle développée postérieurement à la construction du modèle.

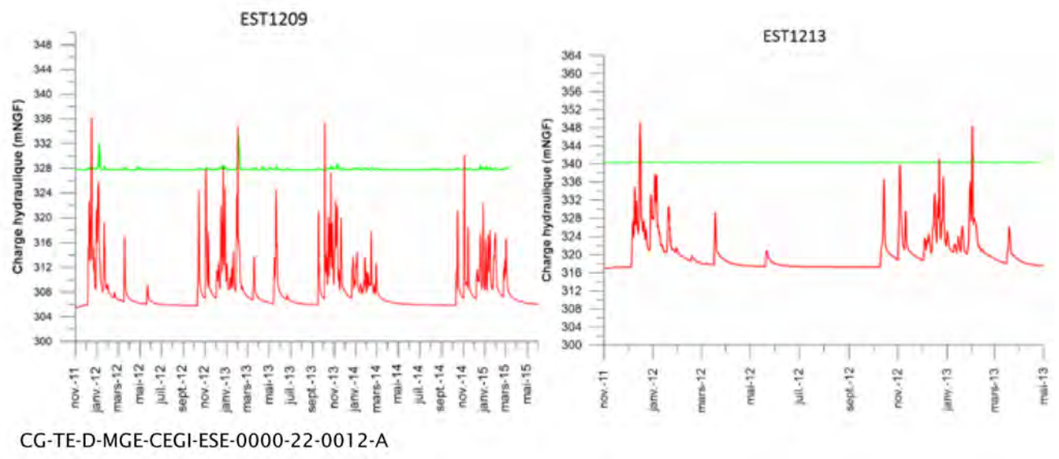


Figure 5-15 *Comparaison des hauteurs d'eau simulées et des mesures - piézomètres localisés au niveau de la zone puits (mesure en rouge, modèle en vert)*

Limites du modèle conceptuel

D'un point de vue général, les éléments à affiner dans les simulations sont :

- les zones remblayées ;
- les rejets de surface des eaux de gestion du site.

Notamment, les rejets des différents types d'eau générés par le projet global Cigéo ainsi que les eaux pluviales et ruissellements de surface (eaux collectées *via* les bassins) restent à conforter dans la modélisation. Leur réinfiltration en aval n'est pas prise en compte dans l'alimentation de la nappe (directe ou indirecte).

De plus, le modèle géologique comporte certaines incertitudes, notamment concernant l'épaisseur de la frange de fracturation. En effet, une frange de fracturation altère les propriétés hydrauliques des différentes unités stratigraphiques à proximité de la surface. La présence de fractures augmente notamment la perméabilité des terrains comme en témoignent les essais Lefranc et Lugeon réalisés à différentes profondeurs sur la zone descenderie. Ainsi, en complément du modèle géo-stratigraphique, l'épaisseur de la zone fracturée est prise en compte dans le modèle afin de différencier les propriétés hydrauliques des roches saines de celles des roches fracturées. En zone descenderie, la profondeur de cette zone a été interpolée à partir des données issues des forages. En dehors de la zone descenderie, cette profondeur est extrapolée en considérant une distance moyenne à la topographie de 10 mètres.

De façon plus précise, sur la zone puits :

- les verses sont intégrées dans le modèle comme une zone à recharge nulle. En effet, il est considéré que les verses ne permettront pas l'infiltration des eaux météoriques (coefficient de ruissellement fort) ;
- l'analyse des effets du projet sur l'unité des calcaires de Dommartin s'avère limitée car dans cette zone, l'aquifère est principalement en condition non saturée et le modèle est donc peu représentatif. L'analyse se focalise donc sur les calcaires sublithographiques.

Sur la zone descenderie :

- l'intérieur de l'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine en zone descenderie n'est pas représentée ;
- la zone de déblais correspondant aux fossés d'amenée vers le terminal ferroviaire nucléaire va drainer des eaux (eaux de suintement). Comme ces eaux sont gérées avec les eaux pluviales, elles sont sorties du modèle, c'est-à-dire qu'elles ne participent pas à la recharge de la nappe. Cependant, ces eaux seront nécessairement rejetées dans le cours d'eau et permettront de réduire les incidences de l'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine et de ses aménagements connexes sur l'hydrologie du cours d'eau ;
- les volumes d'eaux pluviales rejetés vers l'Orge (à débit régulé) *via* le fossé de diffusion restent à conforter dans la modélisation. Toutefois, les volumes d'eaux pluviales rejetés ne permettront pas uniquement une alimentation de la nappe du Barrois : une partie ruissellera, alimentant ainsi les écoulements superficiels de l'Orge et ne participant pas directement à la recharge de la nappe, et une autre s'infiltrera, alimentant la nappe.

Ainsi, les impacts mis en évidence par la simulation sont conservatifs et seront certainement réduits par les volumes d'eaux pluviales rejetés vers l'Orge *via* le fossé de diffusion (élément non pris en compte dans la modélisation).

Par ailleurs, afin de pallier un écart de représentativité d'un modèle « classique » (milieu poreux) certaines hypothèses ont été prises en compte dans le modèle conceptuel sans qu'aucune mesure ne viennent les conforter. Notamment la prise en compte des anciens réseaux hydrographique et la gestion des débits des cours d'eau entre les zones en eau et les zones d'assecs ainsi que l'hypothèse de nappes captives peuvent être remises en question.

Le modèle actuel doit être vu comme une représentation simplifiée permettant une première évaluation conservative de l'hydrogéologie locale et des incidences des futurs aménagements. De fait, elle tient compte uniquement des données acquises avant la conceptualisation détaillée des zones puits et descenderies (notamment l'ouvrage de protection contre les remontées de la nappe d'eau souterraine) et c'est suite aux premiers résultats de ces simulations qu'un programme dédié visant à améliorer la connaissance hydrogéologique des calcaires sublithographiques a été engagé. La représentation des karsts étant complexe, l'acquisition de données spécifiques et la modélisation en tenant compte explicitement demande plusieurs années.

Le chapitre suivants décrivent :

- la nouvelle conceptualisation des karsts du Barrois en cours de développement à partir des données disponibles ainsi que celles de la nouvelle version du modèle hydrogéologique ;
- le programme de caractérisation/modélisation hydrogéologique qui permettra d'affiner le modèle local et de mieux contraindre le comportement hydrogéologique aux limites du modèle, notamment vers le nord et l'ouest.

f) Développement d'un modèle numérique détaillé des écoulements des Calcaires du Barrois

Le nouveau modèle conceptuel des écoulements dans l'épikarst des calcaires sublithographiques au droit de la zone descenderie est schématisé sur la figure 5-16. Ce modèle découle des nombreux forages géotechniques réalisés sur cette zone et limité pour le moment (avril 2021) à cette zone. Des forages géotechniques futurs seront réalisés le long des tronçons routiers et ferrés ainsi que sur la zone puits et permettrons de conforter cette conceptualisation pour l'étendre à l'ensemble de la zone couverte par les installations de surface du projet global Cigéo. D'autres forages spécifiquement dédiés à une meilleure connaissance du fonctionnement hydrogéologique des Calcaires du Barrois sont prévus sur une plus large étendue.

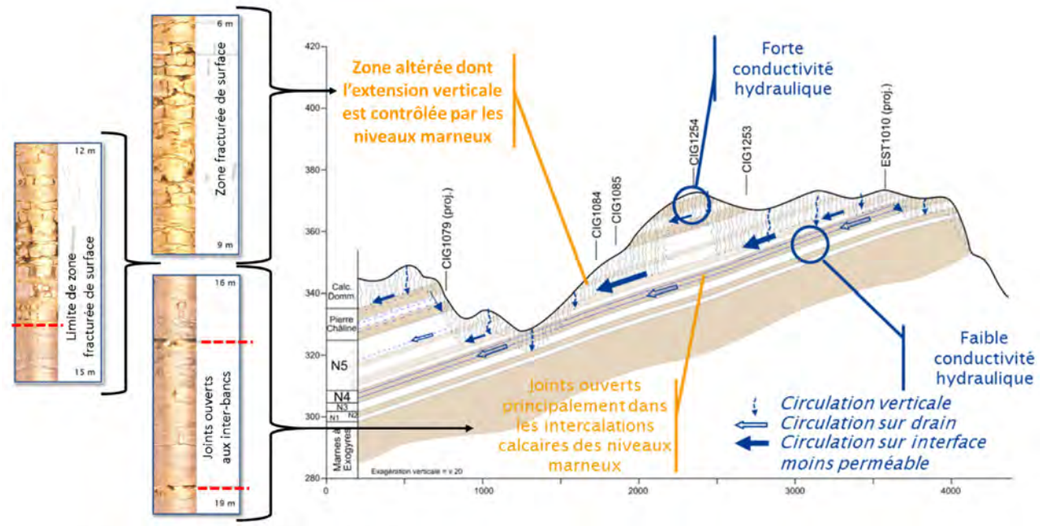


Figure 5-16 Représentation schématique de la nouvelle conceptualisation (03-2021) de l'épikarst des calcaires sublithographiques au droit de la zone descenderie

Les dernières analyses des mesures piézométriques des forages géotechniques sur la zone descenderie peuvent en effet être interprétées en considérant que les bancs marno-calcaires sont relativement peu perméables et que la plupart des écoulements se produisent aux interbancs avec cependant quelques conduits « karstiques » verticaux à travers ces différents bancs calcaires notamment proche de la surface. Le développement des karsts étant encore préliminaire (épikarst de surface), ces conduits sont peu développés et doivent être vus comme des macropores (centimétriques à pluri-centimétriques) connectés verticalement plutôt que comme des conduits ouverts.

Par ailleurs, le périmètre de protection éloignée du captage EAP de Rupt-aux-Nonains (situé plusieurs dizaines de kilomètres en aval de du centre de stockage Cigéo sur la Saulx après sa confluence avec l'Orge) intègre la zone descenderie, les limites du modèle sont donc étendues jusqu'à la confluence entre la Saulx et l'Ornain (cf. Figure 5-17).

De plus, les données pluviométriques utilisées par le modèle actuel étant basées sur des chroniques de durées limitées (une dizaine d'années en ordre de grandeur), un travail visant à compléter ces chroniques en intégrant des données régionales est également prévu afin de mieux cerner les pluies de temps de retour centennales nécessaires à l'évaluation de l'impact des installations de surface de la zone descenderie sur les écoulements de surface et de subsurface en aval de ces derniers.

Enfin, les installations de surface seront représentées de façon plus précise notamment en lien avec les eaux pluviales dans les zones puits et descenderies et leur réinfiltration dans le milieu naturel.

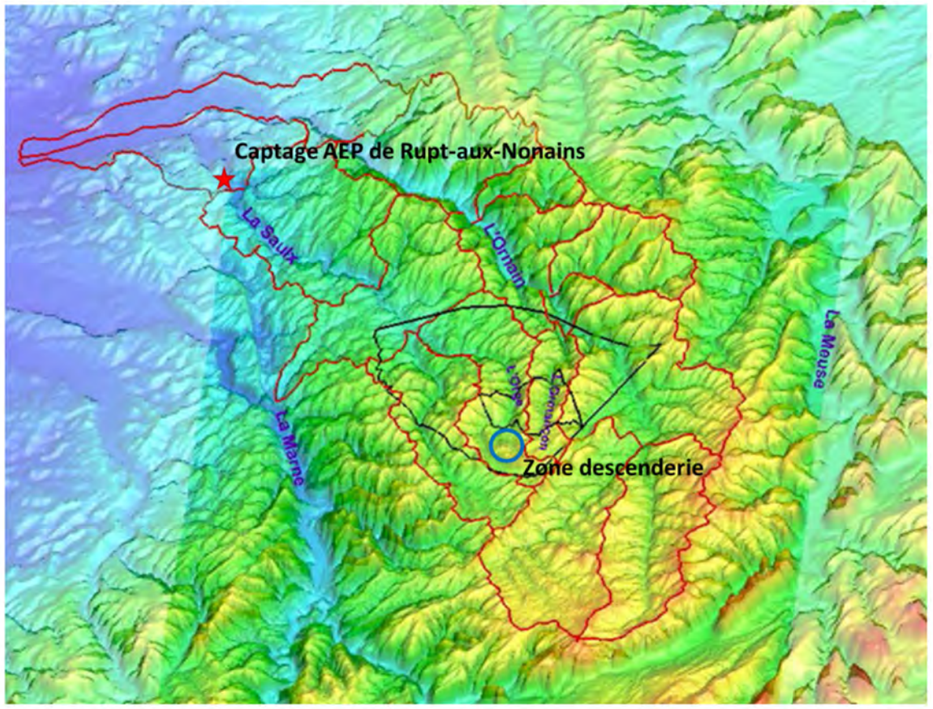


Figure 5-17 Extension prévisionnelle du nouveau modèle hydrogéologique des Calcaires du Barrois intégrant la totalité des sous-bassins versant de la Saulx et de l'Ornain jusqu'à leur confluence

Afin de répondre aux dispositions réglementaires et aux objectifs de conceptions du projet global Cigéo, il est prévu de développer un ensemble de modèles et d'outils capables d'apporter des éléments de réponses relatives aux problématiques en lien avec l'hydrosystème superficiel des Calcaires du Barrois. La réalisation de ces outils et modèles s'appuie sur la définition d'un programme de caractérisation et modélisation qui structurera l'ensemble des études prévues (cf. Figure 5-18). À cet effet, l'Andra s'est appuyé sur l'expertise du BRGM concernant la caractérisation et le fonctionnement des milieux karstiques. L'approche méthodologique générale de ce programme est présentée dans la suivante. L'ensemble de la démarche s'appuie sur la méthodologie Karsys développé par l'ISSKA qui permet l'établissement d'un modèle conceptuel explicite 3D de l'aquifère et des circulations souterraines. Cet outil d'intégration permettra de confronter de manière itérative le modèle aux différentes données existantes et à acquérir.

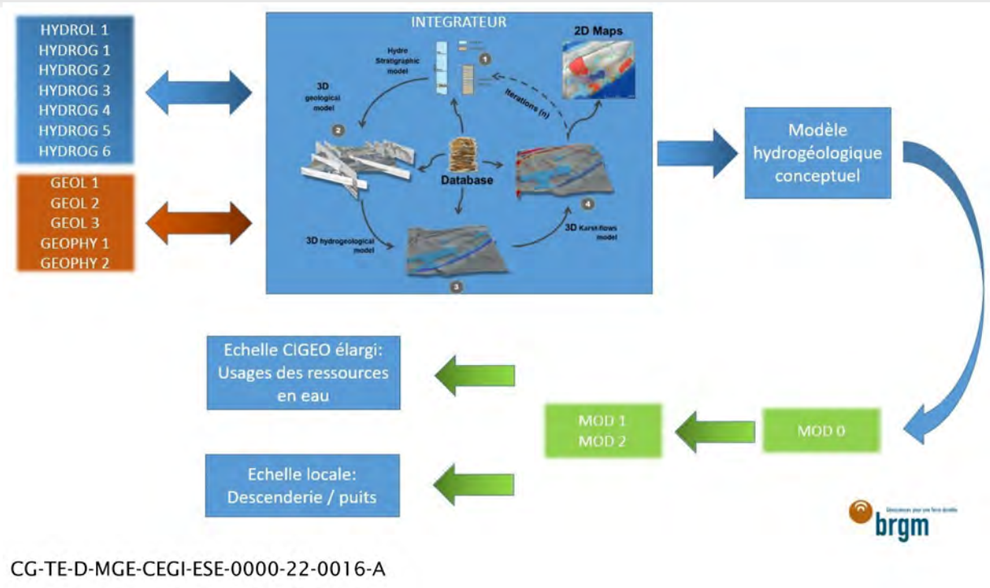


Figure 5-18 Structure du programme scientifique proposé par le BRGM et l'Andra

D'un point de vue pratique il est prévu dans un premier temps de réinterpréter, sous le prisme d'une analyse karstique, l'ensemble des données hydrologiques, hydrogéologique et géologique déjà acquises qui constitueront la première itération de l'analyse Karsys.

En parallèle, et afin de compléter la connaissance du fonctionnement multi échelle des Calcaires du Barrois, il est prévu de réaliser une campagne de forages de caractérisation à l'échelle de l'aire d'étude éloignée qui permettra notamment :

- de préciser la géométrie de l'aquifère au droit du synclinal de Savonnière ;
- de compléter la représentation des fluctuations piézométriques servant de données de calage des modèles hydrogéologiques numérique ;
- l'acquisition des paramètres hydrodynamiques qui régissent les écoulements dans les milieux souterrains ;
- la caractérisation des différentes pôles géochimiques des eaux souterraines pour la définition des échanges surface/souterrains ;
- réaliser des traçages artificiels permettant de vérifier les relations entre pertes et exutoires au sein de l'hydrosystème karstique ;
- mettre en service de nouvelles stations de mesures hydrologiques sur les cours d'eau de l'Orge, de la Bureau et de l'Ormançon ainsi que sur certains exutoires du système karstique ;
- réaliser des mesures géophysiques ponctuelles qui viseront à répondre à des questions de conceptualisation ou à des besoins locaux spécifiques.

Les travaux de modélisation ont quant à eux déjà commencé avec le développement d'un code de calcul permettant la représentation explicite du système karstique et des échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Du point de vue planning, le programme prévisionnel d'acquisition des données peut être divisé en deux grandes phases :

- phase 1 : acquisition de données par des moyens non destructifs (absence de forages) ;
- phase 2 : acquisition de données (géologiques, géophysiques et hydrogéologiques) dans les forages de la campagne de caractérisation.

Lors de la phase 1, en l'absence de la nouvelle campagne de forages du programme Barrois, les études suivantes seront réalisées :

- instrumentation des exutoires ; à réaliser dès le démarrage du programme pour disposer de chroniques de données les plus longues possibles ;
- réalisation des bilans hydrologiques sur base des données disponibles ;
- des campagnes piézométriques régulières sont envisagées sur des points non encore suivis à l'échelle régionale ;
- analyse critique et réinterprétation des tests hydrauliques disponibles sur les Calcaires du Barrois ;
- la cartographie des modalités d'infiltration, qui alimentera la modélisation d'un réseau de drains karstiques ;
- analyse critique et nouvelle campagne des traçages artificiels ;
- campagnes de prélèvements pour analyses hydrochimiques ;
- reprise de l'analyse du contexte géologique aux échelles locale et régionale ;
- préparation et modélisation des campagnes géophysiques ;
- démarrage de la modélisation du réseau de drains karstiques.

Ces tâches viseront à mettre à jour régulièrement le modèle conceptuel hydrogéologique à travers l'approche itérative Karsys puis à alimenter les modèles numériques existant.

L'acquisition des données géologiques, hydrogéologiques et géophysiques prévues en lien avec la campagne de forages lors de la phase 2 seront intégrées dans l'approche Karsys pour permettre la mise à jour des modèles numériques existant et le cas échéant la réalisation de modèles numériques complémentaires en fonction des résultats acquis lors de la phase 1.

Ces différentes itérations de conceptualisations seront intégrées dans différents modèles développés à différentes échelles en tant que de besoin pour répondre aux différents enjeux en lien avec la construction et l'exploitation des installations de surface de la zone descenderie et puits. Ces intégrations se feront en plusieurs étapes.

5.2.1.1.2 Modèle de l'Oxfordien

Deux modèles numériques successifs ont été utilisés pour quantifier l'impact du creusement des ouvrages d'accès au stockage du projet global Cigéo sur l'aquifère de l'Oxfordien. Le premier dans le cadre du dossier de demande de déclaration d'utilité publique (DUP) au moyen du logiciel MARTHE (BRGM) et le second dans le cadre de dossier de demande d'autorisation de création (DAC) au moyen du code de calcul *Ground Water* (GW) développé par le Centre Hydrogéologique de Neuchâtel (CHYN).

Le modèle DUP-MARTHE a été utilisé au stade de déclaration d'utilité publique pour fournir une première estimation des rabattements de la nappe de l'Oxfordien au droit de la zone des descenderies et de la zone des puits lors de la phase travaux et de la phase exploitation.

Le modèle DAC-GW initié en 2009 est un modèle hydrogéologique intégré région-secteur qui permet de représenter les écoulements souterrains à l'échelle régionale (Bassin parisien) et à l'échelle du secteur (aire d'étude éloignée du projet global Cigéo). Le besoin d'utilisation du modèle CHYN découle d'un constat quant aux limites conceptuelles, fonctionnelles et numériques du modèle MARTHE mais aussi des particularités du système aquifère mises en évidence par l'approfondissement itératif des connaissances mais aussi des exigences spécifiques du projet global Cigéo.

Le modèle CHYN vient à présent en remplacement du modèle déclaration d'utilité publique DUP-MARTHE et sert de base à la présente étude d'impact pour la caractérisation des écoulements à l'actuel et sur le prochain million d'années (études de sureté du stockage).

a) Extension et contenu physique du modèle

Le modèle hydrogéologique multicouche représente l'ensemble du Bassin parisien afin de disposer de conditions aux limites précises pour le modèle hydrogéologique de secteur. Il intègre l'ensemble des formations géologiques allant du Tertiaire au Trias selon la décomposition résumée dans le tableau 5-15, soit un total de 56 couches numériques en tenant compte de la sous-décomposition verticale. Les codes LS203 et LS104, au niveau de la formation hôte du Callovo-Oxfordien, correspondent à deux niveaux individualisés à partir de considérations hydrogéologiques.

Tableau 5-15 Série lithostratigraphique prise en compte dans le modèle hydrogéologique intégré région-secteur

Stratigraphie	Formation	Système aquifère particulier	N° couche	Affinage vertical
Tertiaire	Tertiaire supérieur	-	40	1
	Tertiaire inférieur	-	39	1
Crétacé	Crétacé supérieur	-	38	2
	Crétacé inférieur	-	37	1
	Albien	-	36	1
	Aptien	-	35	1
Jurassique sup. (Malm)	Néocomien/Berriasien	-	34	1
	Calcaires Cariés	Aquifère des calcaires du Barrois (Portlandien)	33	1
	Oolithe de Bure		32	1
	Calcaires de Dommartin		31	1
	Pierre Châline		30	1
	Calcaires lithographiques		29	1
	Kimméridgien	-	28	2
	Sommet du Séquanien supérieur	Aquifères de l'Oxfordien calcaire	27	2
	Base Séquanien supérieur		26	4
	Séquanien inférieur		25	8
	Rauracien supérieur		24	2
	Rauracien inférieur		23	1
	Argovien supérieur		22	2
	Argovien inférieur	-	21	1
	LS203	-	20	1
Jurassique moyen (Dogger)	Callovien argileux	-	19	1
	LS104	-	18	1
	Dalle nacrée- Callovien calcaire	-	17	1

Stratigraphie	Formation	Système aquifère particulier	N° couche	Affinage vertical
	Bathonien moyen-supérieur	-	16	1
	Bathonien inférieur	-	15	1
	Marnes de Longwy	-	14	1
	Bajocien supérieur	-	13	1
	Bajocien inférieur	-	12	1
Jurassique inf. (Lias)	Toarcien	-	11	1
	Domérien supérieur	-	10	1
	Domérien moyen	-	9	1
	Domérien supérieur	-	8	1
	Hettangien	-	7	1
Trias	Rhétien	-	6	1
	Norien	-	5	1
	Carnien supérieur	-	4	1
	Carnien inférieur	-	3	2
	Muschelkalk	-	2	1
	Buntsandstein	-	1	1

La figure 5-19 et la figure 5-20 présentent successivement l'extension du modèle régional et du modèle de secteur.

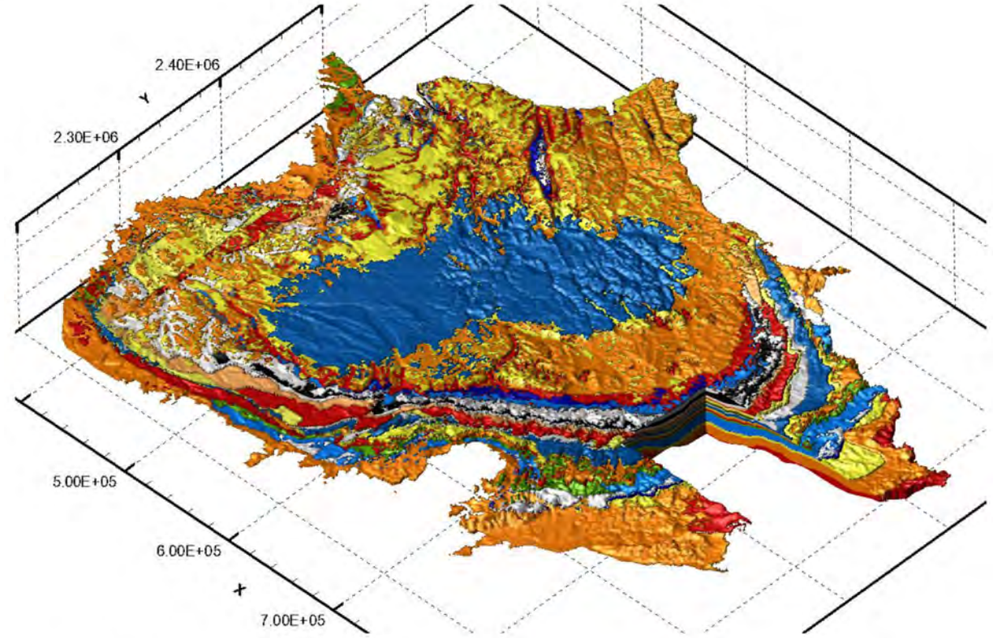


Figure 5-19 Vue 3D du modèle à l'échelle du Bassin parisien

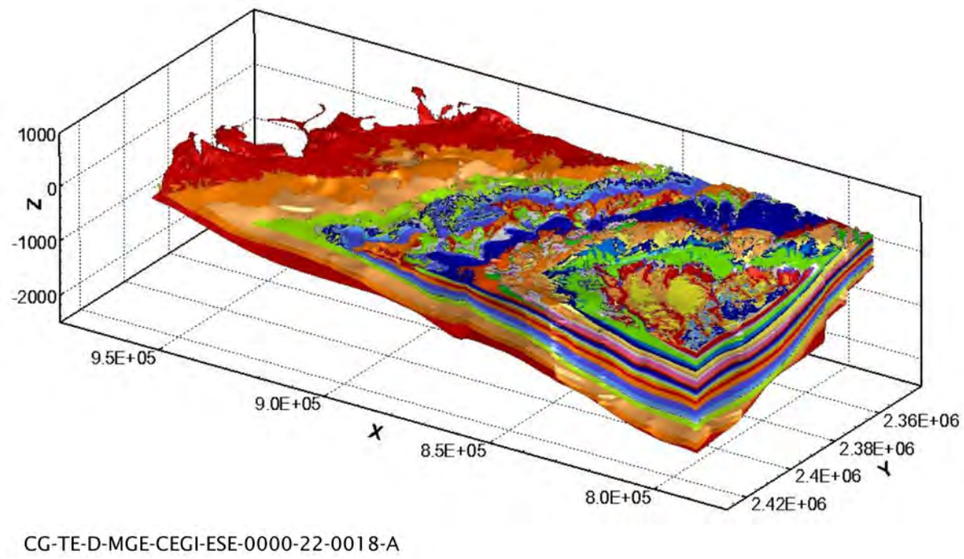
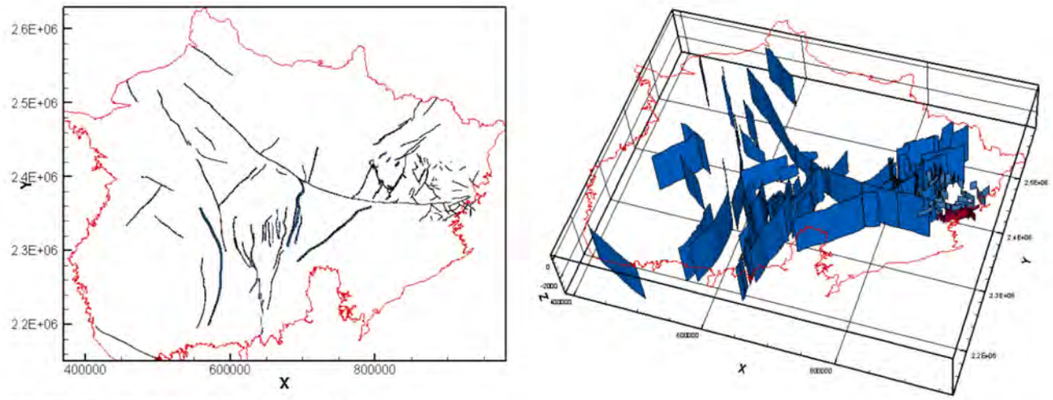


Figure 5-20 Vue 3D du modèle à l'échelle du secteur étendu

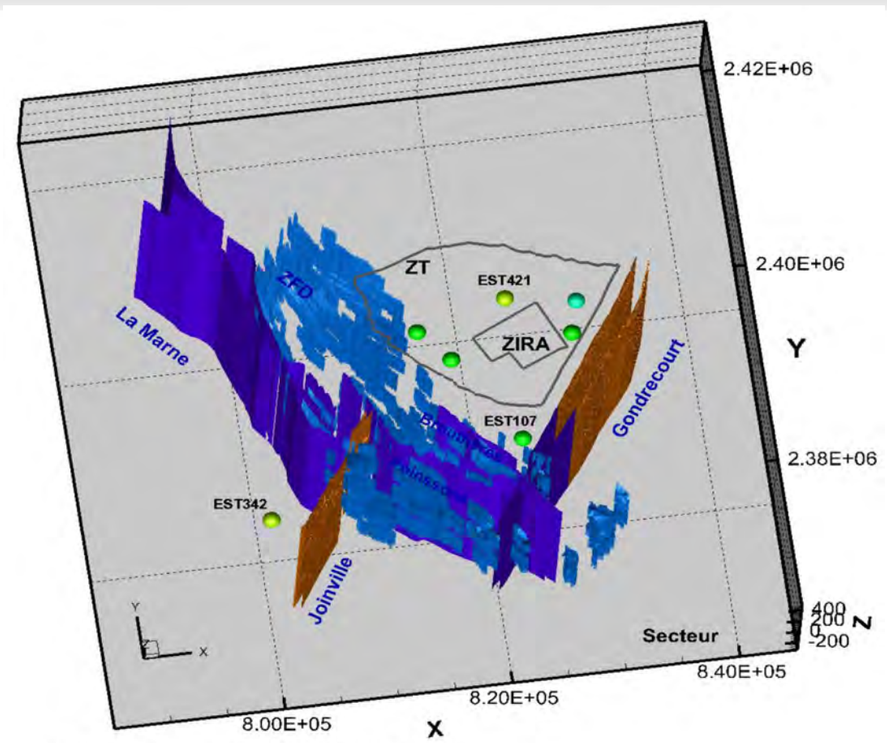
Chaque composante est définie par des couches surfaciques correspondant au toit et au mur (base) de la formation. Ces surfaces ont été construites avec une résolution de 250 mètres à l'échelle du bassin et de 50 mètres à l'échelle du secteur étendu à partir de données topographiques, de forage, de sismique 3D, de relevés structuraux (tracé des failles) et d'expériences de traçage artificiel.

Les failles majeures qui ont notamment un effet sur la géométrie des couches sont prise en compte par l'intégration de cinq surfaces faillées de référence représentant le toit de la couche du Buntsandstein, le toit du Trias, le mur et le toit du Dogger calcaire et le toit de l'Oxfordien calcaire. Ces surfaces de référence ont permis de définir la géométrie de l'ensemble des couches au droit des failles régionales (cf. Figure 5-21). Les failles intégrées dans le modèle de secteur sont au nombre de 73. Leur géométrie est présentée sur la figure 5-22. L'une des étapes clef de l'étude du rôle de ces failles sur les écoulements à diverses échelles est de leur attribuer une fonction hydraulique en les rendant soit plus transmissives soit plus étanches que la roche encaissante.



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0019-A

Figure 5-21 *Failles majeures intégrées dans le modèle régional : à gauche, vue en plan ; à droite, vue 3D*



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0020-A

Figure 5-22 *Failles majeures à l'échelle du secteur de Meuse Haute/Marne. En bleu foncé, les failles transmissives 2D, en orange les failles étanches 3D, et la fracturation mineure en bleu clair*

b) Les unités aquifères

On distingue trois ensembles aquifères à l'échelle du secteur : les calcaires du Barrois dans la partie supérieure, les calcaires de l'Oxfordien et les formations du Dogger plus en profondeur (cf. Tableau 5-15). Ces trois systèmes hydrogéologiques sont en grande partie déconnectés à la faveur des niveaux intercalaires très peu perméables du Kimméridgien, séparant les Calcaires du Barrois des Calcaires de l'Oxfordien, et les argilites du Callovo-Oxfordien séparant les Calcaires de l'Oxfordien des formations du Dogger. On s'intéresse ici uniquement aux Calcaires du Barrois et aux Calcaires de l'Oxfordien qui sont les formations aquifères directement concernées par les impacts hydrauliques générés par la construction des installations de surface et les ouvrages d'accès au stockage. Ils ont aussi la particularité d'être le siège de phénomènes karstiques ce qui constitue en soi une difficulté notoire pour l'analyse conceptuelle. Par ailleurs les calcaires du Barrois ont aussi la particularité d'être en interaction avec le réseau hydrographique de surface, ce qui lui confère une complexité accrue. À ce titre, l'amélioration de la conceptualisation de l'aquifère du Barrois fait l'objet d'un programme d'actions passant par l'acquisition et l'analyse de données nouvelles (programme de caractérisation et de modélisation hydrogéologique des Calcaires du Barrois présenté ci-dessus). Les avancées sur l'Oxfordien calcaire sont par contre suffisantes à ce jour pour exploiter le modèle à des fins de calculs d'impact et de sureté du projet global Cigéo.

Les chapitres qui suivent font une description synthétique de ces deux unités particulières telles qu'elles sont conceptualisées et représentées dans le modèle intégré région-secteur. Comme précisé plus haut, ce modèle est encore amené à évoluer pour en améliorer la représentativité et la pertinence, en particulier pour l'aquifère des calcaires du Barrois.

Aquifère des calcaires du Barrois

La présentation de ce système aquifère est ici volontairement simplifiée puisque le modèle intégré CHYN dans sa partie « Calcaires du Barrois » n'est pas encore abouti et fait encore l'objet de réflexions conceptuelles.

Dans ses grandes lignes, les Calcaires du Barrois intègrent trois aquifères karstiques : les Calcaires Cariés, les Calcaires de Dommartin et les Calcaires Lithographiques (cf. Figure 5-23). Ces aquifères sont séparés par les niveaux intercalaires semi-perméables de l'Oolithe de Bure et de la Pierre Châline.

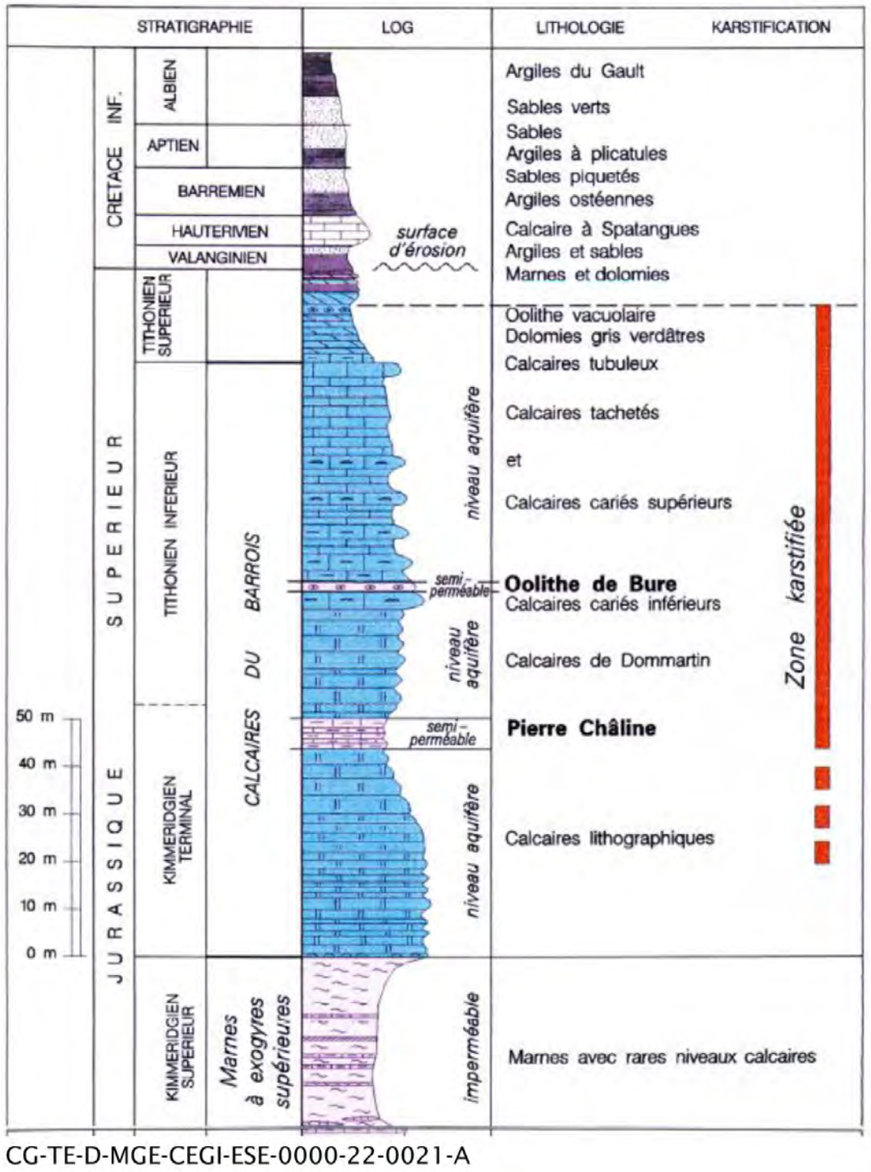


Figure 5-23 *Organisation lithostratigraphique des Calcaires du Barrois indiquant les niveaux karstifiés et semi-perméables*

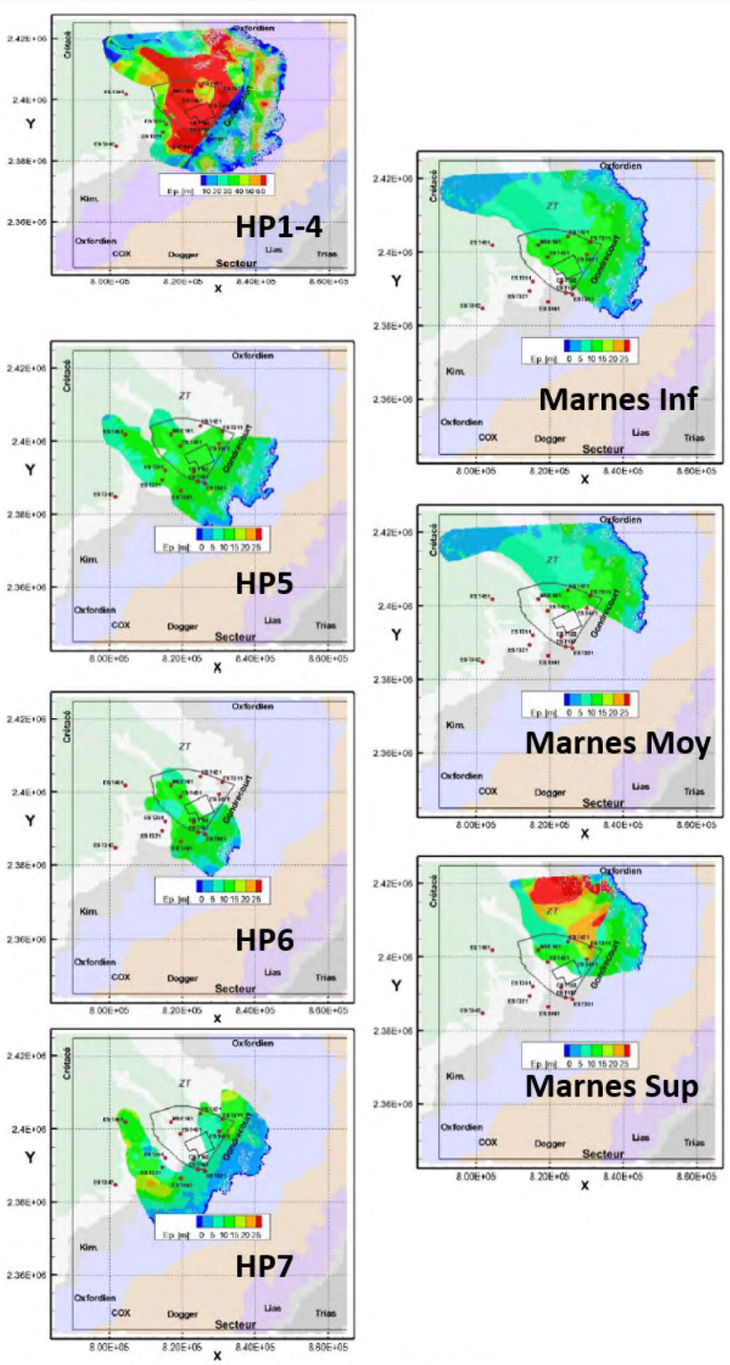
Le modèle actuel distingue 16 surfaces, depuis la surface topographique jusqu'à la base des Calcaires lithographiques.

La structure des réseaux karstiques des Calcaires du Barrois intégré au modèle résulte d'une approche stochastique (aléatoire) basée sur les processus physico-chimiques couplés de karstification. Trois réseaux karstiques sont distingués : un réseau inférieur, un réseau moyen et un réseau supérieur, correspondant respectivement aux réseaux de karsts des Calcaires sublithographiques, des Calcaires de Dommartin et des Calcaires Cariés.

Aquifère de l'Oxfordien

L'aquifère de l'encaissant oxfordien comporte quatre horizons poreux (HP1-4, HP5, HP6 et HP7), définis comme des zones au sein desquelles la porosité des roches calcaires est supérieure à 13 %, intercalés avec trois couches marneuses peu-perméables de la série grise. Ces horizons poreux ont été repérés lors des campagnes de reconnaissance géologique des couches encaissantes du Callovo-Oxfordien par d'importantes venues d'eaux souterraines. La géométrie de ces couches a été définie à partir de données sismique 3D. Une représentation en est donnée sur la figure 5-24.

L'aquifère Oxfordien comporte ainsi deux nappes distinctes au nord-est du secteur. Ces deux nappes sont représentées par les horizons poreux 1-4 (nappe inférieure) et les horizons poreux 5, 6 et 7 (nappe supérieure) et sont hydrauliquement séparées par la couche des marnes inférieures. Ces deux nappes sont confondues sur le reste du secteur du fait de l'absence des formations marneuses.



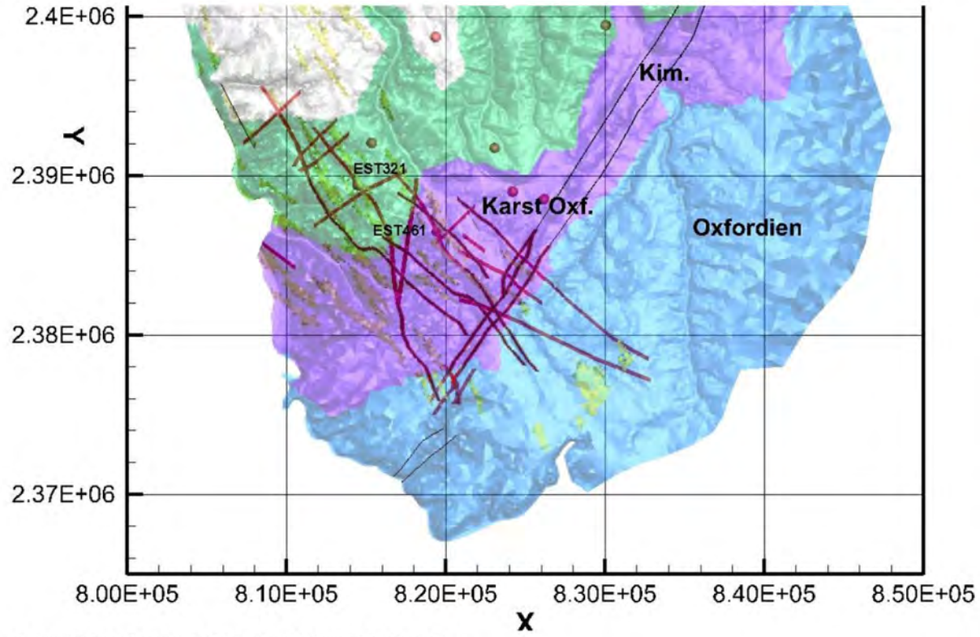
CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0022-A

Figure 5-24 *Extension et épaisseur des horizons poreux et des niveaux intercalaires de la Série grise de l'Oxfordien calcaire à l'échelle du secteur*

La structure du système hydrogéologique de l'Oxfordien calcaire est caractérisée par une forte hétérogénéité spatiale liée à la présence de failles majeures, de fractures diffuses, et de réseaux karstiques fortement perméables contenus dans une matrice calcaire peu perméable. Cette hétérogénéité spatiale influence fortement le fonctionnement hydrodynamique de la formation.

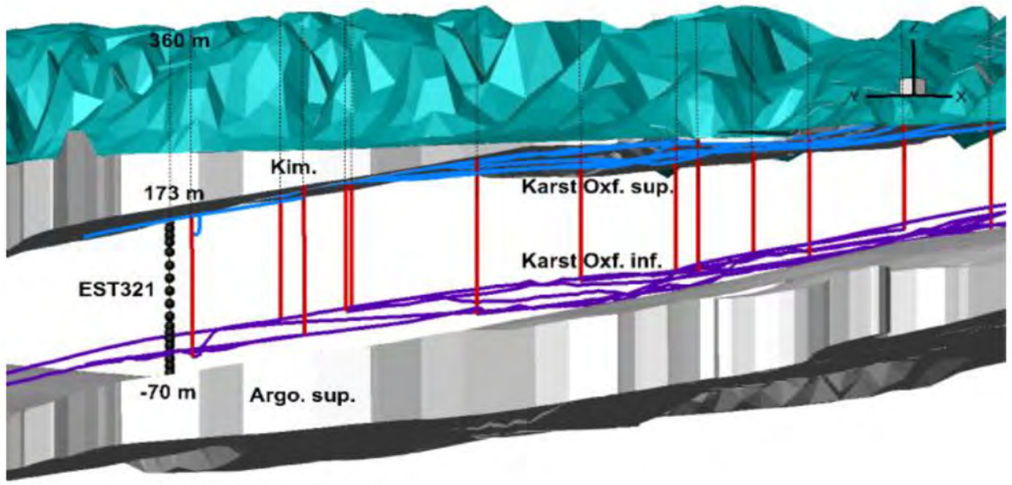
Le concept du karst oxfordien considère uniquement les conduits principaux. La construction du réseau karstique s'est essentiellement basée sur une analyse de géologie structurale au sud-ouest du secteur et dans la zone de fracturation diffuse au sud de la vallée de la Saulx. En outre, la géométrie du réseau karstique oxfordien a été contrainte par les données d'essai de traçage artificiel ainsi que par le modèle conceptuel développé par l'Andra.

L'extension latérale du réseau karstique oxfordien est en accord avec l'extension des failles majeures et de la fracturation diffuse. La figure 5-25 et la figure 5-26 illustrent successivement la géométrie des réseaux karstiques oxfordiens et le principe de représentation qui distingue un karst supérieur et un karst inférieur connectés par des éléments verticaux (puits karstiques).



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0023-A

Figure 5-25 *Vue en plan des réseaux karstiques oxfordiens à l'échelle du secteur*



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0024-A

Figure 5-26 Les réseaux karstiques oxfordiens

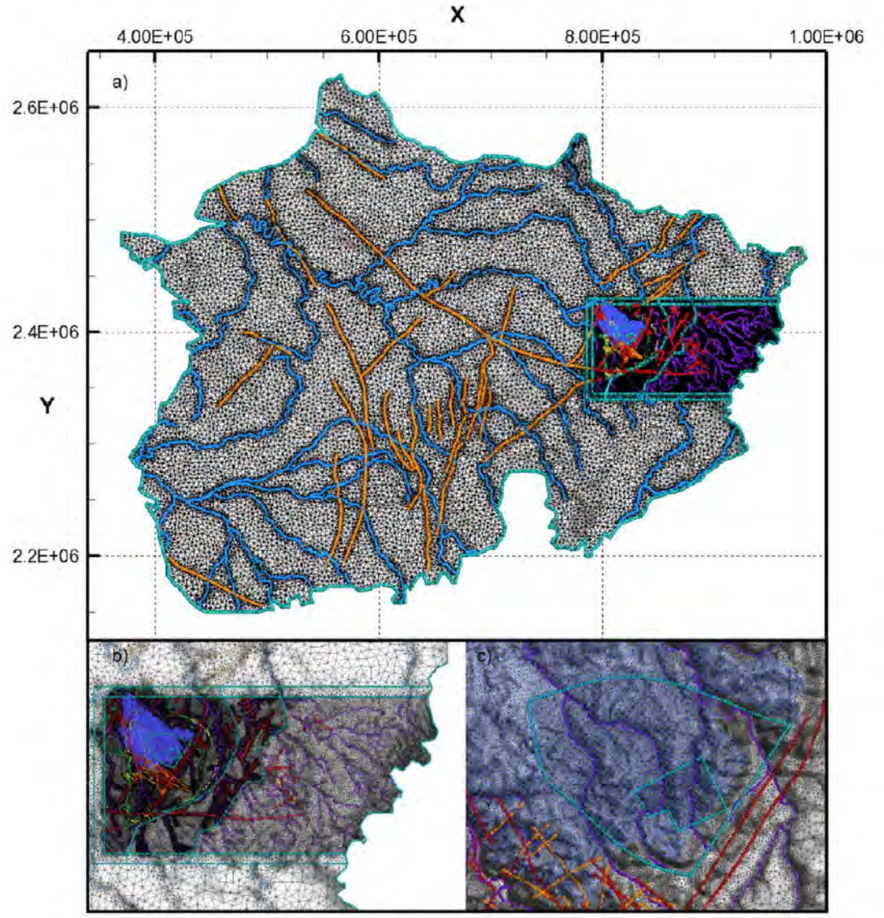
Le réseau karstique inférieur en bleu foncé, le réseau supérieur en bleu clair, et en rouge les puits karstiques verticaux.

c) Maillage du modèle numérique

Maillage régional

Le maillage du modèle région-secteur résulte d'un processus phasé. Dans une première étape une discrétisation en éléments finis 2D plan a été générée à partir de l'ensemble données géoréférencées sous forme de polygones, de lignes ou de points préalablement préparées dans un système d'information géographique (GIS). Le maillage intègre le tracé des cours d'eau et des failles (majeures et secondaires), le tracé des réseaux karstiques, les contours du secteur étendu, de la zone de transposition (ZT) et de la zone d'intérêt et de reconnaissance approfondie (ZIRA), la localisation des forages de la zone de transposition ainsi que des puits d'accès au Laboratoire souterrain. Il contient également les contours de sous-domaines qui serviront à l'élaboration de modèles de secteurs.

Le maillage 2D est composé uniquement d'élément triangulaires et comporte un total 241 223 éléments pour 121 055 nœuds (cf. Figure 5-27) dont 183 782 éléments et 92 310 nœuds (77 %) forment le maillage du secteur avec une résolution encore plus fine autour de la zone de transposition.



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0025-A

Figure 5-27 Maillage régional 2D plan, avec raffinement le long des cours d'eau, le long des failles et dans le secteur b) et c)

Le réseau hydrographique est figuré en bleu, le karst en points bleus, les failles majeures en rouge, les failles secondaires en jaunes, les puits et forages Andra en points rouges.

Dans une second temps le maillage 3D a été généré par un processus d'extension verticale du maillage 2D en injectant les surfaces géologiques structurales correspondant à la décomposition définie dans le tableau 5-15. Le maillage 3D contient au final 34 unités structurales discrétisées en 56 couches numériques.

Le modèle final région-secteur contient un total de 4 274 350 nœuds pour 8 643 090 éléments.

La figure 5-28 présente des exemples de coupes verticales du maillage 3D à l'échelle régionale.

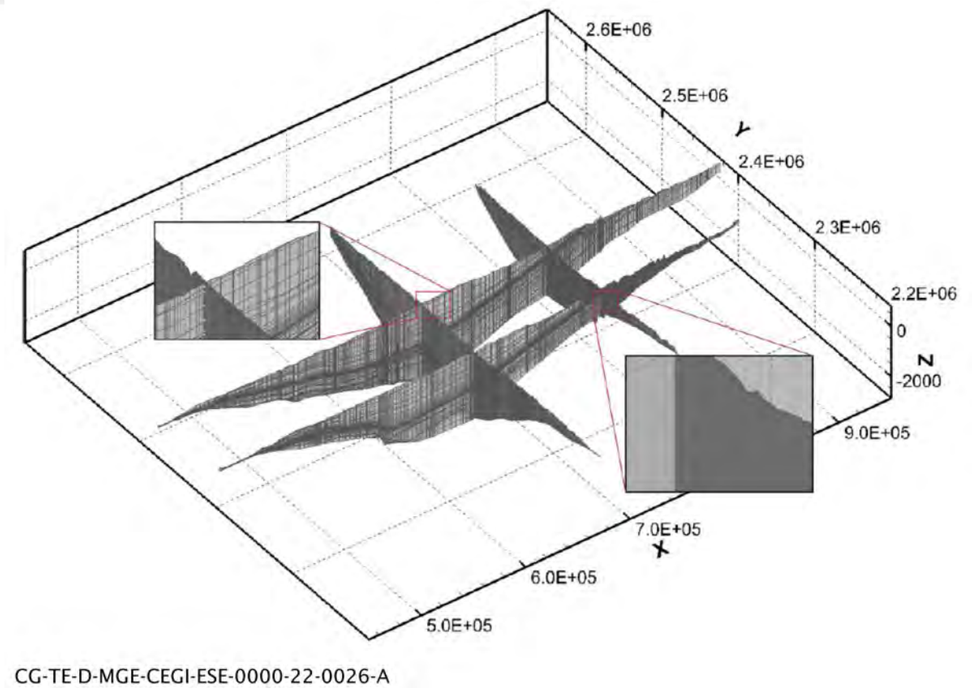


Figure 5-28 Coupes transversales montrant le raffinement du maillage vertical à l'échelle du secteur

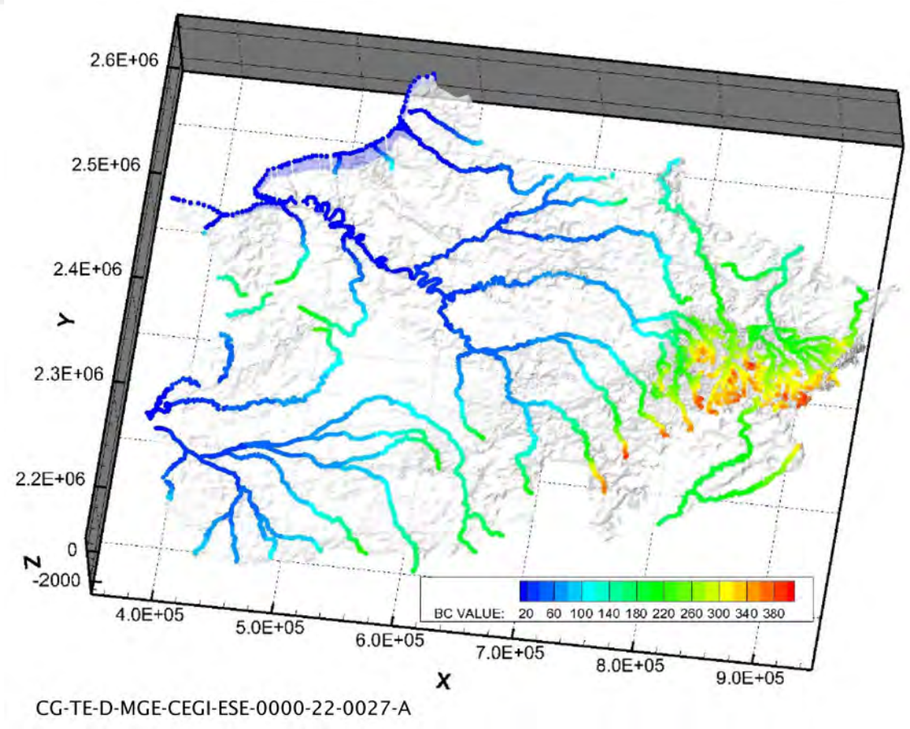


Figure 5-29 Réseau hydrographique : charges hydrauliques imposées au niveau des rivières

d) Conditions aux limites

Tout modèle numérique, quel qu'en soit le domaine d'application, impose de travailler sur des objets de dimensions finies et de définir les conditions qui s'appliquent aux frontières du domaine représenté. S'agissant ici d'un modèle hydrogéologique ces conditions aux limites peuvent être de nature différente : charge imposée, flux nul, conditions mixte.... Le choix du type de condition repose sur des considérations géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques.

L'un des intérêts du modèle intégré région-secteur est justement de considérer une grande échelle d'espace, celle du Bassin parisien, qui permet de se rattacher à des conditions aux limites naturelles mais aussi de disposer de conditions précises et robustes pour le modèle hydrogéologique de secteur.

Ces conditions aux limites sont les suivantes :

- charges constantes imposées sur le tracé du réseau hydrographique à l'altitude correspondante (H = z). Le réseau hydrographique utilisé intègre la majorité du réseau principal sur la région mais avec un plus grand raffinement sur le secteur étendu ;
- charges constantes imposées sur la limite nord-ouest du modèle pour représenter la Manche (charge hydrostatique de référence Hs = 0) ;
- flux nul le reste des limites extérieures du modèle.

La figure 5-29 montre les charges constantes qui ont été imposées sur le tracé du réseau hydrographique.

Par ailleurs et bien que ne constituant pas à proprement parler une condition aux limites, des conditions de débit à hauteur de 50 000 m^3/jour sont prises en compte pour représenter les pompages dans l'aquifère de l'Albien en région parisienne.

e) Recharge par la pluie efficace

L'infiltration de la pluie efficace constitue l'un des principaux termes d'alimentation des systèmes aquifères. Cette recharge naturelle peut être regardée comme une condition de surface.

Sa distribution spatiale à l'échelle régionale a été évaluée au moyen de deux méthodes combinées :

- évaluation de l'infiltration par calcul des bilans hydrologiques à l'échelle des bassins versants ;
- élaboration d'un modèle numérique d'écoulement calibré en régime permanent.

Pour mémoire la dimension de ce flux correspond à des m^3 (d'eau) par m^2 (de surface) et par an, soit à des m/an ou de manière plus générale à une longueur par unité de temps (en l'occurrence des m/s pour le modèle).

À l'échelle du Bassin parisien, la recharge varie de 10 % à 33 % des pluies annuelles moyennes, avec une moyenne de 190 mm/an soit 24 % de la pluie annuelle (792 mm/an en moyenne pour l'ensemble du bassin de Paris). La figure 5-30 montre la distribution des flux imposés à la surface du modèle pour matérialiser cette recharge.

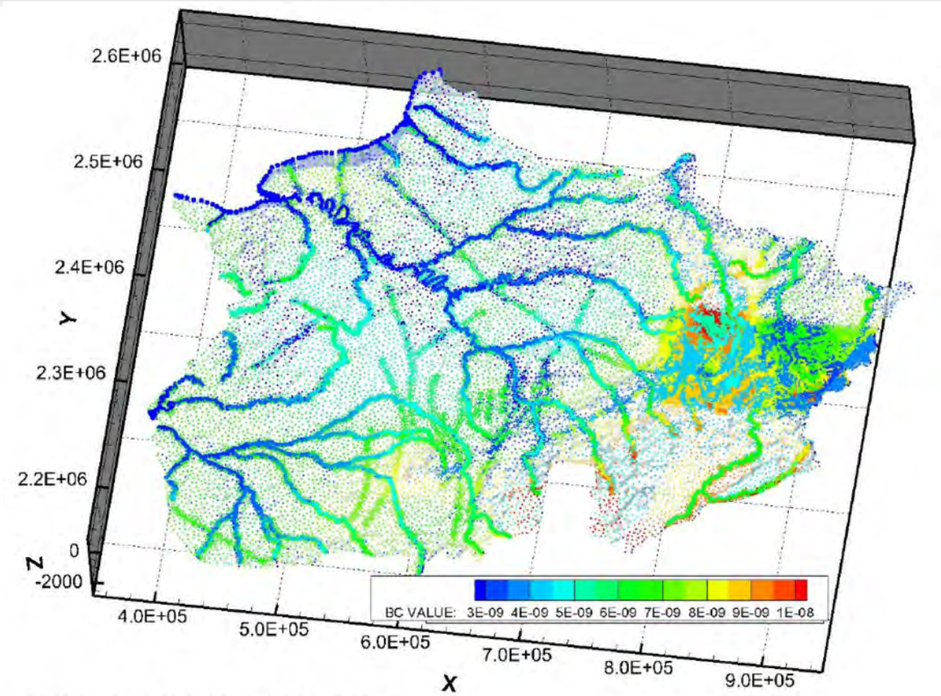


Figure 5-30 Recharge [m/s] imposés sur les nœuds de surface du modèle intégré

f) Paramétrage du modèle

Cette étape de modélisation consiste à affecter des propriétés hydrodynamiques aux objets 1D, 2D et 3D constitutifs du modèle. Ces paramètres sont au nombre de deux : la conductivité hydraulique (ou perméabilité) et la porosité totale.

À l'échelle du bassin et du secteur étendu

La paramétrisation initiale du système multicouche découlent de la lithologie des formations et des données disponibles (y compris des tests hydrauliques *in situ* ou de mesures sur carottes) caractérisant les unités géologiques à différentes échelles. Elle est issue des études et travaux réalisées par l'Andra dans le cadre du développement du modèle initial de 2012.

À l'échelle du secteur étendu, la distribution des conductivités hydrauliques est marquée par un fort contraste avec des valeurs allant de 10^{-14} à 10^{-4} m/s. L'encaissant supérieur Oxfordien est caractérisé par des conductivités hydrauliques comprises entre 10^{-12} et 10^{-6} m/s et des porosités entre 5 % et 25 %. Pour le Dogger, encaissant inférieur, ces paramètres varient de 10^{-11} à 10^{-5} m/s pour la conductivité hydraulique, et de 12 % à 22 % pour la porosité. La couche Callovo-Oxfordienne est caractérisée par des valeurs de conductivité hydraulique comprises entre 10^{-14} et 10^{-12} m/s et des valeurs de porosité totale allant de 10 % à 14 %.

La très forte variabilité des conductivités hydrauliques dans les deux aquifères calcaires soulignent la nature discontinue de ces milieux.

Ces paramètres ont été utilisés par la suite comme données d'entrée pour le calage modèle.

Les failles majeures

Les conductivités hydrauliques des failles sont attribuées aux éléments du maillage sous forme de tenseur pouvant être anisotrope dans les trois dimensions d'espace. La paramétrisation des failles se fait en affectant une transmissivité correspondant au produit de la conductivité hydraulique et de l'épaisseur de l'élément.

g) Calibration du modèle en régime permanent

Dans son principe, la phase de calibration (ou calage) consiste à ajuster les paramètres « *a priori* » du modèle de sorte à reproduire au mieux des observations piézométriques de référence qui proviennent ou découlent de mesures de terrain. Son objectif final est de s'assurer de la représentativité et de la robustesse du modèle dans la perspective de son utilisation pour simuler des situations projetées en vérifiant sa capacité à rendre compte de situations réelles.

Ce calage est le résultat d'un processus itératif basé sur une approche essai-erreur assistée par des outils de calibration automatique par méthode inverse (logiciel PEST en l'occurrence). À cet effet et comme précisé plus haut, le logiciel GW est conçu pour s'interfacer avec PEST.

Pour ce modèle intégré région-secteur la calibration a porté sur un état d'écoulement en régime permanent.

Données de calage

Les données utilisées proviennent de deux sources principales :

- base de données du BRGM ;
- campagnes de mesures Andra.

Les données ont été compilées et géoréférencées puis contrôlées pour détecter les éventuelles anomalies et supprimer les valeurs manifestement aberrantes.

La base de données finale regroupe un total 1 250 points couvrant l'ensemble du bassin de Paris avec une densité accrue dans le périmètre du secteur avec plus de 500 points de profondeur supérieure à 25 mètres (cf. Figure 5-31).

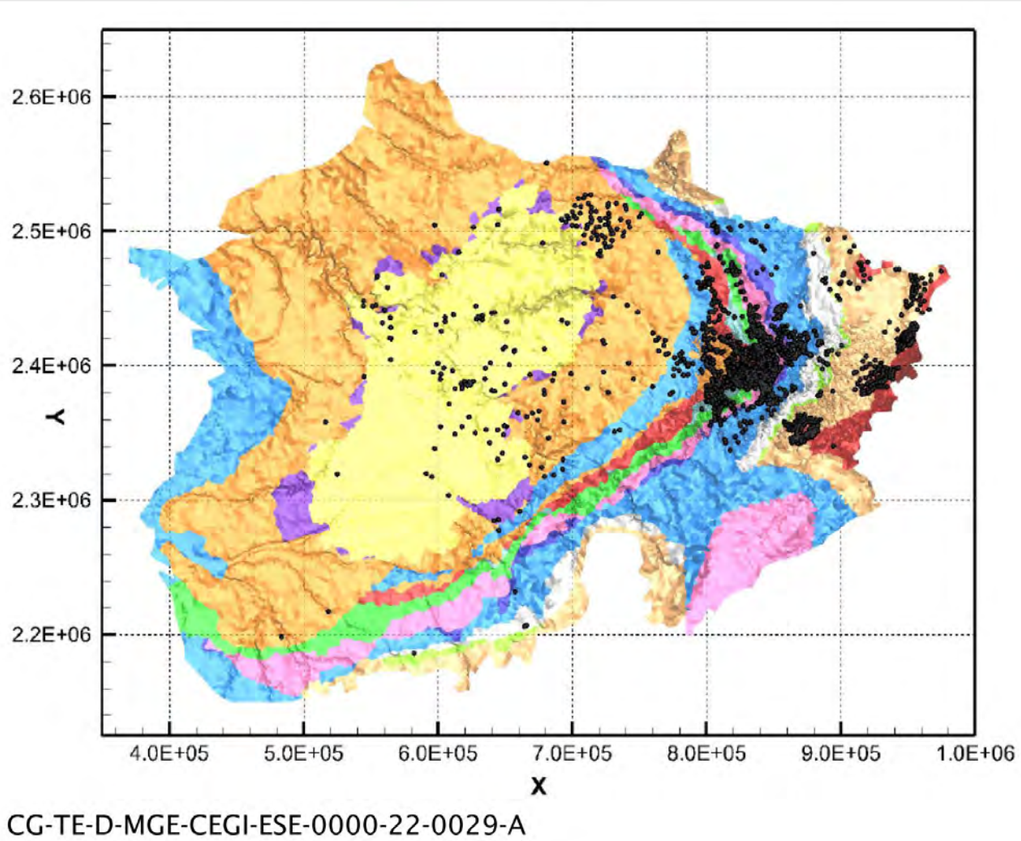


Figure 5-31 Répartition des points de mesures piézométriques à l'échelle du bassin. Le fond de carte correspond à la géologie de surface simplifiée

Ce jeu de données a par ailleurs été complété par un ensemble de points issus de la digitalisation de cartes piézométriques de plusieurs aquifères tels que l'Albien, l'Oxfordien et le Dogger.

Stratégie de calage

Le calage du modèle d'écoulement s'est déroulé en deux étapes :

- la première a porté sur le calage des écoulements à l'échelle régionale et notamment les aquifères de surface ;
- la seconde sur un calage plus fin à l'échelle du secteur.

Les résultats obtenus au terme de ce calage découlent d'un processus itératif complexe qui a nécessité de réviser certaines hypothèses de base ou d'intégrer de nouvelles hypothèses notamment sur le rôle hydraulique des failles majeures, la prise en compte de la fracturation diffuse, l'activation des réseaux karstiques, les conditions aux limites, l'anisotropie des conductivités hydrauliques ou encore la décomposition du multicouche. Une grande partie de ces résultats de calage sont d'ailleurs pris en compte dans les chapitres qui décrivent le modèle région-secteur.

Le calage s'est largement appuyé sur l'approche automatique inverse mais en imposant un ensemble de contraintes pour garantir la cohérence et la représentativité des paramètres obtenus. Le calage à l'échelle du secteur s'est organisé en quatre étapes successives avec :

- le calage des horizons poreux et des couches des marnes de la série grise constitutives de l'aquifère de l'Oxfordien calcaire ;
- le calage des unité lithostratigraphique par zone et plus particulièrement des encaissants du Dogger et de l'Oxfordien ;
- l'ajustement des anisotropie et la mise en cohérence de l'ensemble des paramètres ;
- la prise en compte d'hétérogénéité locale dans l'encaissant de l'Oxfordien (réseau karstique).

Calage à l'échelle régionale

La figure 5-32 donne un aperçu des résultats de calage à l'échelle régionale sous forme de diagrammes de résidus et de validation croisée (charge observée *vs* charge simulée).

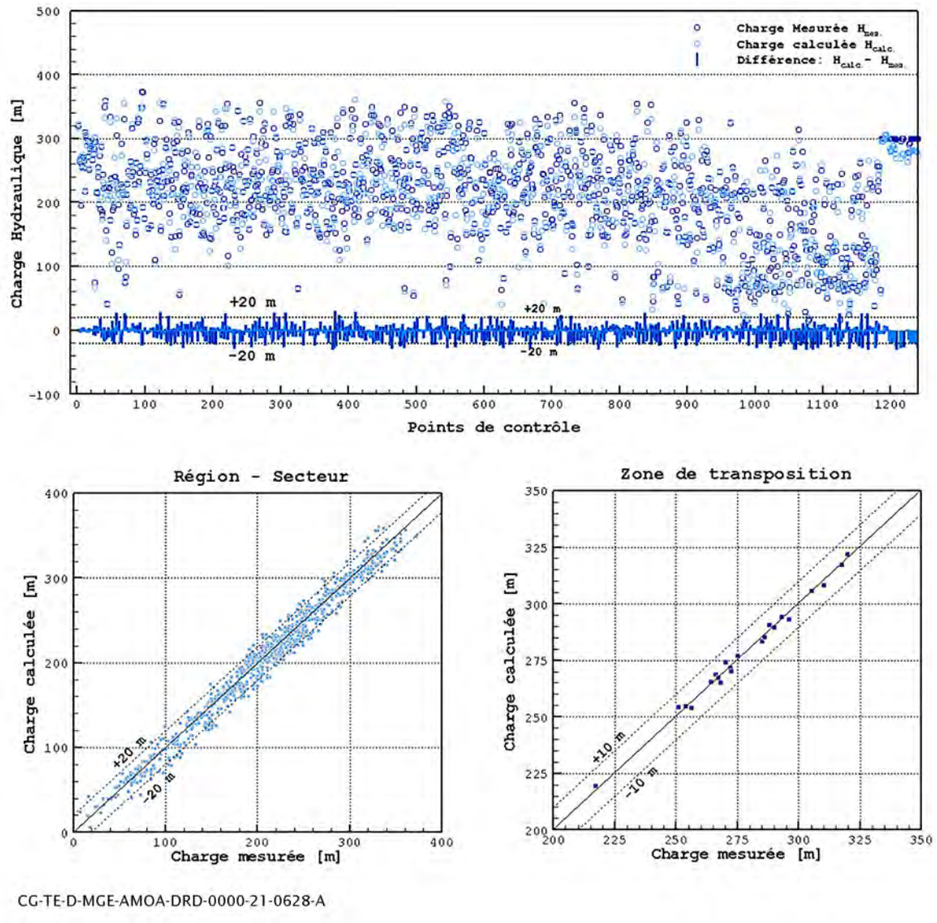


Figure 5-32 Diagrammes de calibration pour le domaine intégré région/secteur avec 1250 mesures directes de charge hydraulique

La figure 5-33 permet d'apprécier la structure des écoulements souterrains de subsurface à l'échelle du bassin. Les écoulements sont globalement orientés est-ouest, fortement contrôlé par le réseau hydrographique de surface. Les charges hydrauliques varient de 400 mètres dans la région des Vosges à l'est du bassin à 0 mètre dans La Manche qui représente l'exutoire principale du système aquifère.

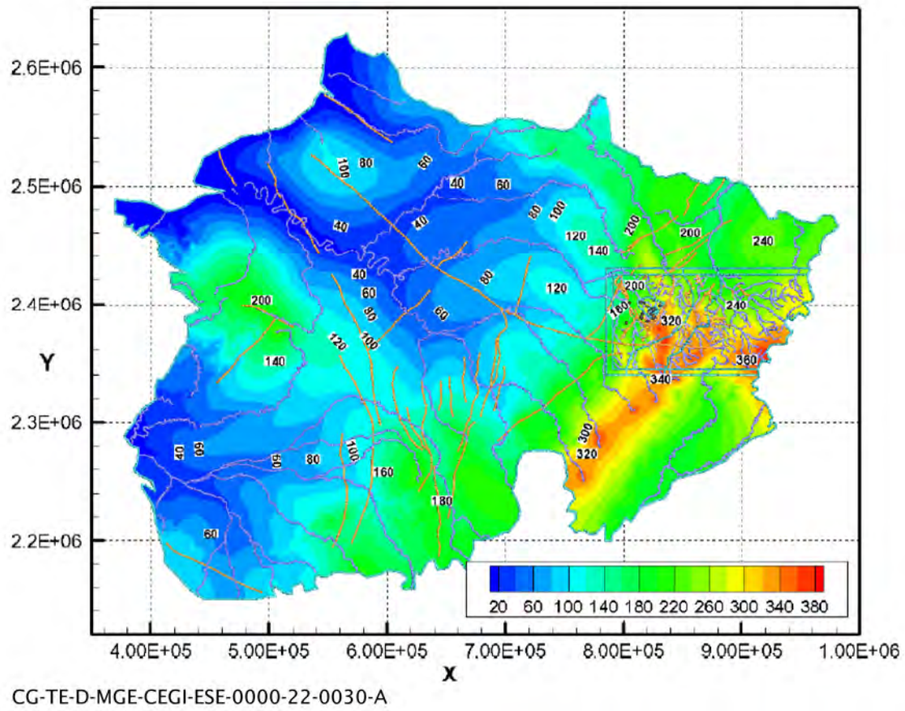


Figure 5-33 *Piézométrie simulée à la surface du domaine intégré région/secteur. Le réseau hydrographique ainsi que les failles régionales sont respectivement représentés en bleu et en rouge*

La figure 5-34 donne un exemple de distribution des conductivités hydrauliques et de la piézométrie obtenue pour l'aquifère de l'Albien. Les directions d'écoulement sont en concordance avec les résultats d'études antérieures.

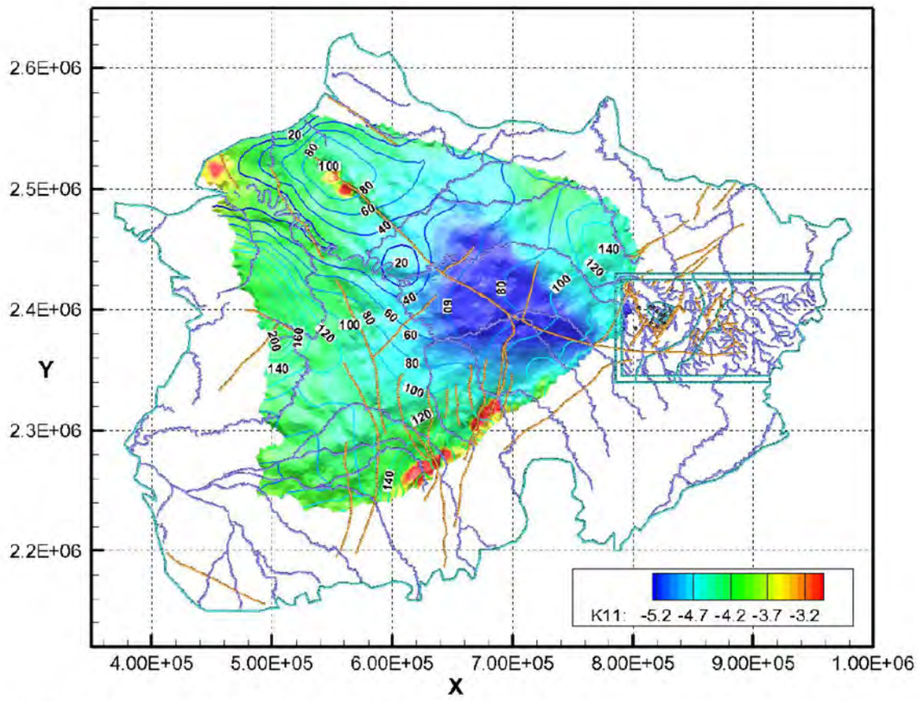


Figure 5-34 *Piézométrie calculée (contours) et champs de conductivités hydrauliques (fond de carte) de l'Albien. L'échelle de conductivité est en logarithme*

Calage à l'échelle du secteur

Pour l'essentiel le calage a permis d'améliorer sensiblement la représentativité du modèle en particulier pour les encaissants de l'Oxfordien et du Dogger où les mesures de charge sont les plus nombreuses à l'échelle du secteur.

La figure 5-35 présente le diagramme de validation croisée obtenu pour l'Oxfordien. Les écarts entre les moyennes de charge hydraulique simulées et celles mesurées dans les 13 forages profonds de l'Andra sont inférieurs à 5 mètres pour la majorité des points de contrôle (12 points/13) avec un écart absolu moyen de 2,66 mètres.

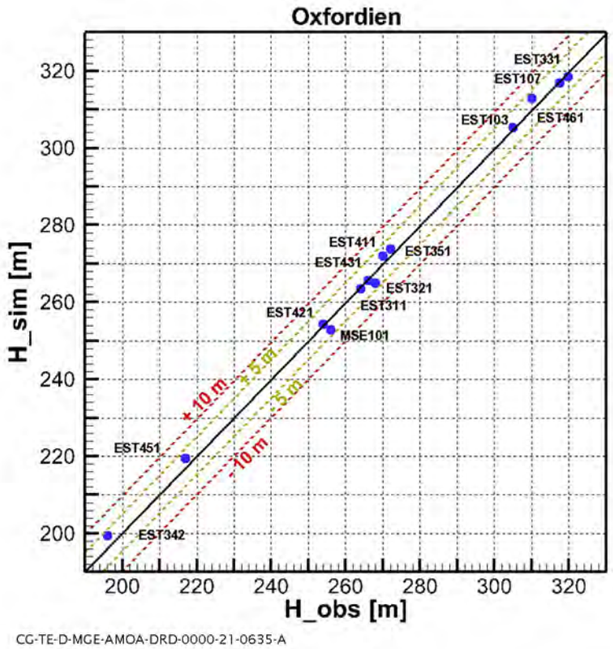


Figure 5-35 *Diagramme de validation croisée de l'Oxfordien*

La piézométrie simulée (cf. Figure 5-36) indique une direction principale d'écoulement dans l'encaissant de l'Oxfordien orientée sud-est/nord-ouest. La recharge directe de ce système aquifère se produit au niveau des affleurements surtout au sud du fossé de Gondrecourt, ce qui explique le dôme piézométrique bien distingué dans cette zone. Au-delà, les écoulements se font en direction du centre du bassin de Paris avec un effet de drainage marqué par les vallées de la Meuse au nord-est et de La Marne au sud-ouest.

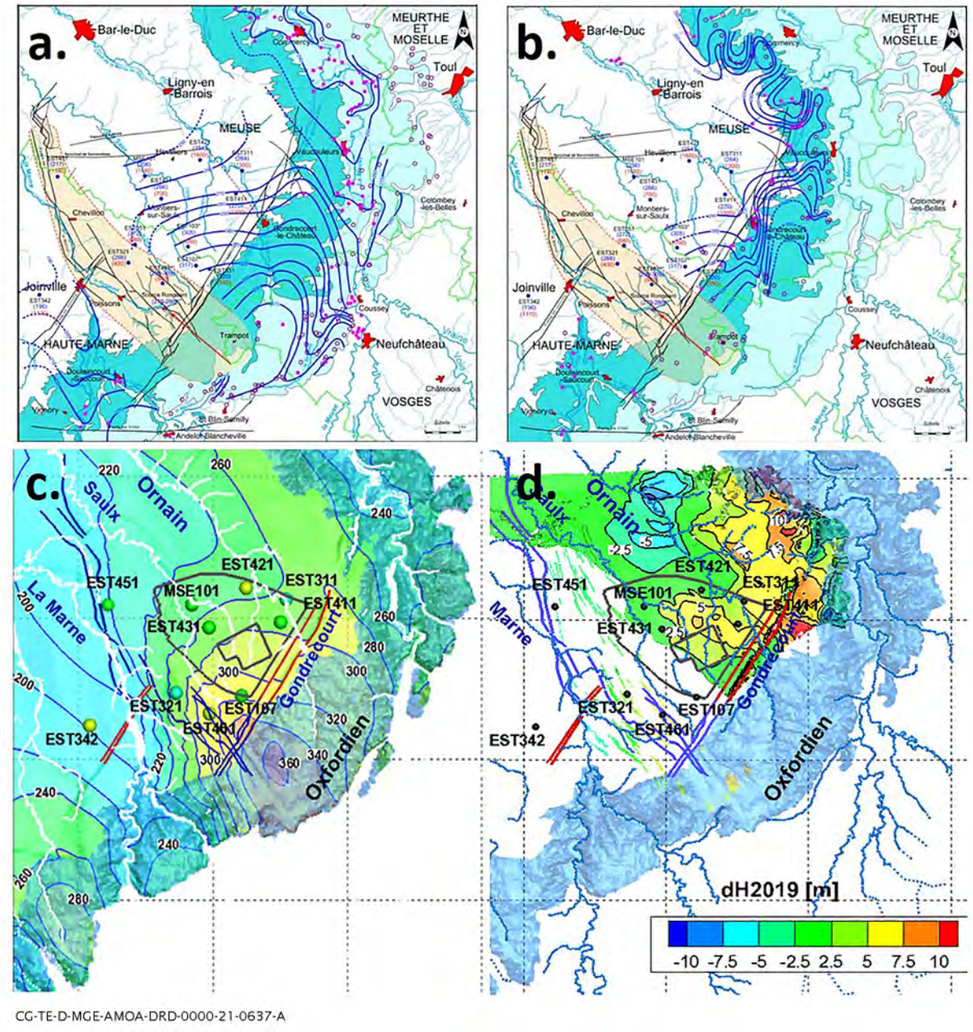


Figure 5-36 *Piézométries mesurées dans les nappes inférieure (a) et supérieure (b) de l'Oxfordien et simulées dans la nappe inférieure (c). La piézométrie simulée dans la nappe supérieure (d) est présentée par une différence de charge entre les niveaux piézométriques de la nappe supérieure de la nappe*

En fond de carte, les affleurements des unités hydrogéologiques. Les points d'observation sont représentés par des ronds colorés. En trait bleu, les failles drainantes ; en orange, les failles étanches ; et en vert clair, les fractures mineures. Les contours du secteur, de la ZT et de la ZIRA sont également montrés en gris foncé

Bilan et perspectives

La qualité du calage obtenu est satisfaisante dans les aquifères de l'Oxfordien et du Dogger mais reste encore inégale et perfectible dans les formations aquifères des calcaires du Barrois avec des perspectives de développements futurs et de l'acquisition de données nouvelles. Ces actions font d'ailleurs l'objet d'un programme de travaux ciblé visant notamment à améliorer la connaissance et la conceptualisation des calcaires du Barrois et plus particulièrement son fonctionnement karstique et ses interactions avec le réseau hydrographique de surface.

Au stade actuel, le modèle de secteur est suffisamment abouti pour engager les simulations d'impact du projet global Cigéo sur l'aquifère de l'Oxfordien calcaire. Par contre, le calage sur le système des calcaires du barrois doit encore progresser avant d'envisager l'exploitation du modèle pour les calculs d'impact. C'est pour cette raison que la présente étude d'impact s'appuie sur les résultats des simulations, considérés comme enveloppe en termes d'impact hydraulique de l'ouvrage de protection contre les remontées de nappe, fournis par le modèle initial.

h) Simulations prédictives des impacts des structures d'accès au stockage

Stratégie de simulation

Les simulations prédictives s'inscrivent sur des durées longues qui imposent de disposer d'un modèle calé en transitoire pour tenir compte à la fois du phasage des travaux de creusement des ouvrages du centre de stockage Cigéo, de la durée d'exploitation du stockage, du temps de retour à l'équilibre après fermeture mais aussi des fluctuations et des évolutions naturelles du milieu hôte. Pour répondre à cette exigence il a été fait le choix de travailler sur un modèle local dérivé du modèle de région-secteur afin de disposer d'un support de taille plus réduite.

Le programme de simulation s'est donc organisé en deux phases, avec :

- le développement et le calage du modèle local en régime transitoire ;
- la simulation des impacts hydrauliques des structures d'accès du centre de stockage Cigéo puis du retour à l'équilibre après exploitation et fermeture du stockage.

La particularité de ce modèle est de faire largement appel à des méthodes probabilistes pour rendre compte de la variabilité spatiale des paramètres et d'en intégrer l'effet sur la présentation des résultats. Elle est aussi de considérer des écoulements en milieu variablement saturé pour rendre compte des phénomènes de désaturation qui se déploieront en périphérie des puits et descenderies.

Développement du modèle local et calage en régime transitoire

L'étendue de ce modèle local a été définie sur la base d'une combinaison d'arguments numériques et hydrogéologiques dans l'objectif de disposer d'un modèle de taille réduite compatible avec l'affinage du maillage pour intégrer avec précision les structures d'accès, mais d'extension suffisante pour circonscrire le périmètre d'impact du centre de stockage Cigéo sans risque d'interférence avec les conditions aux limites.

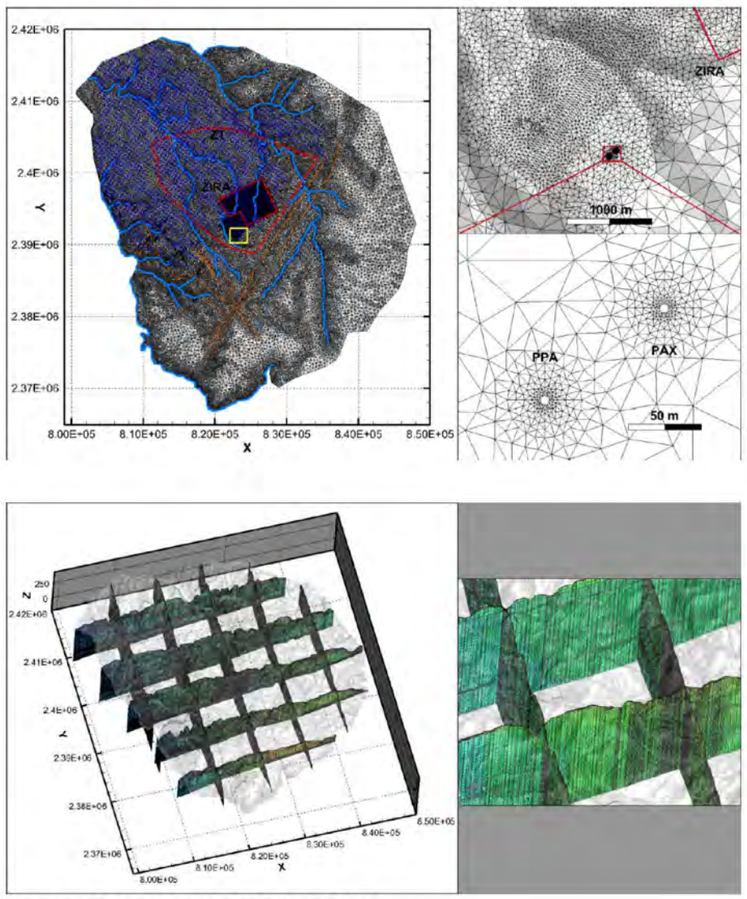
Concernant l'extension verticale, il a été admis que les perturbations induites par les structures du stockage (c'est-à-dire les descenderies et les puits d'accès) n'affecteront pas les écoulements dans la couche du Callovo-Oxfordien ni les formations sous-jacentes. Par conséquent, il a été décidé de modéliser uniquement l'Oxfordien calcaire, le Kimméridgien marneux et le Portlandien/Berriasien correspondant essentiellement aux Calcaires du Barrois (cf. Tableau 5-16).

La calibration de ce modèle local est faite en utilisant les données de rabattement induit par le creusement du Laboratoire souterrain et suivi par un réseau de piézomètres permettant une cartographie spatiale et temporelle de la perturbation hydraulique sur environ 17 années.

Tableau 5-16 Décomposition stratigraphique prise en compte dans le modèle local

Stratigraphie	Formation	Système aquifère particulier	N° couche	Affinage vertical
Crétacé	Aptien	-	35	1
Jurassique sup. (Malm)	Néocomien/Berriasien	-	34	1
	Calcaires Cariés	Aquifère des calcaires du Barrois (Portlandien)	33	1
	Oolithe de Bure		32	1
	Calcaires de Dommartin		31	1
	Pierre Châline		30	1
	Calcaires lithographiques		29	1
	Kimméridgien	-	28	2
	Sommet du Séquanien supérieur	Aquifères de l'Oxfordien calcaire	27	2
	Base Séquanien supérieur		26	4
	Séquanien inférieur		25	8
	Rauracien supérieur		24	2
	Rauracien inférieur		23	1
	Argovien supérieur		22	2

Le maillage des couches a été affinée dans le plan vertical pour permettre une meilleure reproduction des gradients hydrauliques verticaux et donc des rabattements observés autour des puits. Le puits principal d'accès au Laboratoire souterrain (PPA) et le puits auxiliaire (PAX), de diamètres respectifs 6 mètres et 5 mètres, sont discrétisés par des éléments 2D. La figure 5-37 donne une vue d'ensemble du maillage final.



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0032-A

Figure 5-37 Vues 2D et 3D du maillage en éléments finis du modèle local

Pour le reste, le modèle contient tous les éléments constitutifs hérités du modèle région-secteur.

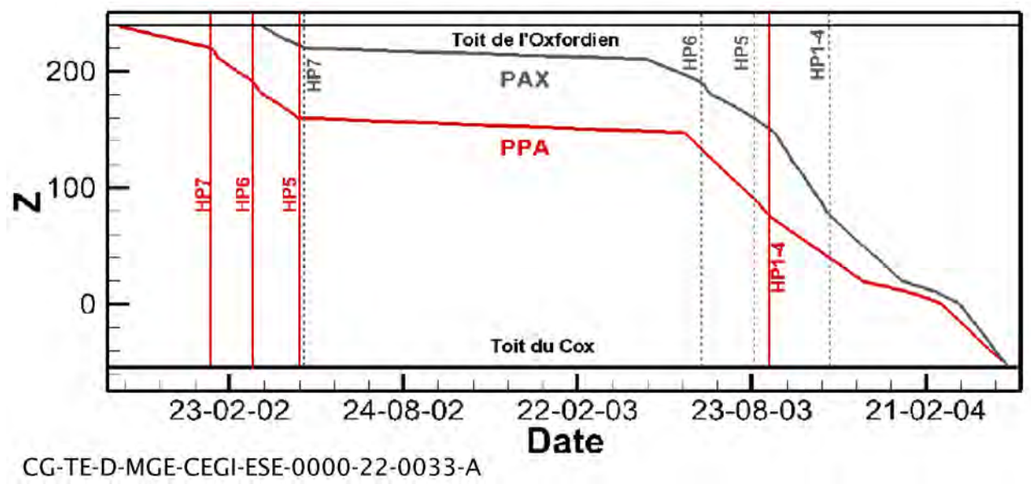
Les conditions aux limites retenues sont :

- en surface :
  - ✓ la recharge par infiltration de la pluie qui représente 33 % de cumul pluviométrique annuel moyen ;
  - ✓ des charges hydrauliques imposées sur le tracé du réseau hydrographique ;
- latéralement, des charges hydrauliques résultant du calage du modèle d'écoulement région-secteur.

Par ailleurs, la simulation du creusement des puits d'accès au Laboratoire nécessite l'attribution de conditions aux limites appropriées et variable dans le temps. Les conditions aux limites appliquées au niveau des puits d'accès sont des conditions dites de suintement qui permettent de régler le flux entrant en fonction de la charge hydraulique et de l'élévation altimétrique. Ces conditions de suintement sont variables dans le temps car leur activation est associée au calendrier d'avancement du creusement et aux dates d'interception des horizons poreux (cf. Tableau 5-17 et figure 5-38).

Tableau 5-17 Dates d'atteinte des horizons poreux (toit) par les puits d'accès (puits principal PPA et puits auxiliaires PAX) au Laboratoire souterrain

	Formation ou horizon poreux	Puits principal	Puits auxiliaire
Oxfordien calcaire	Niveau intercalaire	31 octobre 2001	29 mars 2002
	Horizon Hp7	4 février 2002	14 mai 2002
	Niveau intercalaire	12 février 2002	5 mai 2003
	Horizon Hp6	19 mars 2002	2 juillet 2003
	Niveau intercalaire	27 mars 2002	10 juillet 2003
	Horizon Hp5	7 mai 2002	26 août 2003
	Niveau intercalaire	14 juin 2003	16 septembre 2003
	Horizon Hp4	9 septembre 2003	11 novembre 2003
	Niveau intercalaire	21 novembre 2003	10 janvier 2004
	Horizon Hp2	28 novembre 2003	17 janvier 2004
	Niveau intercalaire	6 février 2004	3 mars 2004
	Callovo-Oxfordien	Mi-mai 2004	Mi-mai 2004



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0033-A

Figure 5-38 Progression des travaux de creusement des puits

Les conditions initiales du modèle ont été obtenues par des simulations d'écoulement à long-terme jusqu'à atteindre une solution d'équilibre hydraulique.

Les données utilisées pour le calage du modèle sont principalement issues des mesures en continu réalisées depuis le creusement des puits d'accès au laboratoire souterrain intervenu entre 2000 et 2004. Il s'agit :

- de charges hydrauliques relevées sur un ensemble de forage répartis en périphérie des puits (cf. Figure 5-39) ;
- de mesures du débit drainé par les puits au droit des horizons poreux producteurs.

Ces données en continu couvrent une période d'environ 17 ans (2001-2018).

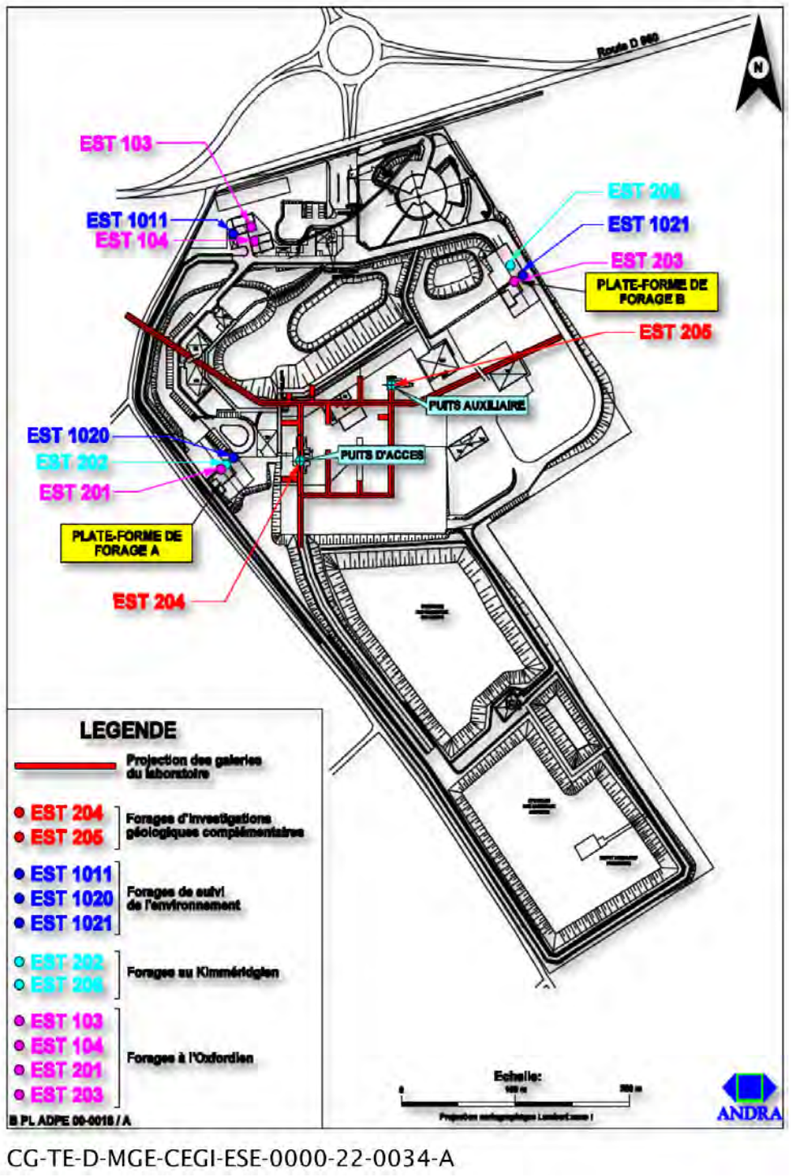


Figure 5-39 *Localisation des puits d'accès au Laboratoire souterrain et des forages de surveillance*

Le paramétrage du modèle s'est appuyé sur une approche stochastique (processus aléatoire) afin d'intégrer la variabilité spatiale du champ de conductivité hydraulique. Cette variabilité est le reflet des nombreuses hétérogénéités (fractures, joints, diaclases) qui affectent notamment les systèmes aquifères du Barrois et de l'Oxfordien. À titre d'exemple, la conductivité hydraulique de l'Oxfordien tel qu'elle résulte du calage du modèle région-secteur varie de 10^{-10} m/s à 10^{-5} m/s.

Un processus probabiliste a été utilisé pour générer un ensemble de réalisations aléatoires du champ de conductivité hydraulique à partir d'un jeu de données de base. Ces champs de valeurs ont été injectés dans le modèle et les 10 réalisations donnant les erreurs de calibration les plus faibles ont été retenues. Une méthode inverse a été ensuite appliquée pour ajuster chaque champ de paramètres. Compte tenu de la complexité du traitement, seuls les niveaux poreux (HP) de l'aquifère de l'Oxfordien ont été considérés à ce stade.

Méthode de simulation

La simulation des impacts hydrogéologiques se focalise sur :

- l'extension des zones non-saturées autour des ouvrages (puits et descenderie) ;
- l'extension de la perturbation en régimes d'écoulement permanent et transitoire ;
- les débits drainés par ces structures.

Par ailleurs, ces impacts sont déterminés pour trois périodes distinctes : au cours de la construction des ouvrages, durant l'exploitation du stockage (100 ans) et, enfin, après sa fermeture.

À cet effet les simulations démarrent à partir d'un état d'écoulement initial correspondant soit à celui de la date de démarrage des travaux du futur stockage pour les deux premières périodes, soit à celui de la date de fermeture du stockage pour la troisième et dernière période.

Dans un premier temps, les 10 réalisations de champ de paramètres retenues à l'issue de la phase de calibration précédente ont été utilisées en considérant un régime d'écoulement permanent. L'objectif de cette première étape est de délimiter la zone d'influence de l'infrastructure du stockage et d'examiner la sensibilité du résultat à la variabilité du champ de paramètre associées aux horizons poreux de l'Oxfordien.

Dans un second temps, les mêmes 10 champs de paramètres ont été considérés pour réaliser des simulations transitoires conditionnées par le calendrier prévisionnel du projet global Cigéo jusqu'au retour à l'équilibre (*i.e.* À un état non perturbé) après fermeture et remblaiement du centre.

Les résultats de ces simulations probabilistes sont ensuite moyennés en leur associant une incertitude qui découlent de leur variabilité de sorte à ne disposer que d'un seul champ de valeurs spatio-temporelles. Les incidences sont alors évaluées en termes :

- d'extension et d'amplitude de la perturbation à différentes dates ;
- d'évolution des charges hydrauliques au droit des forages d'observation et de surveillance ;
- d'évolution des débits des eaux drainées par les ouvrages d'accès au stockage et par les puits d'accès au Laboratoire souterrain ;
- de distribution des taux de saturation dans les formations oxfordienne au terme des 100 années d'exploitation du futur stockage.

Ces résultats de simulation d'impact sont présentés et commentés dans le volume IV de la présente étude d'impact.

5.2.1.2 Estimation des besoins en eau potable du projet et adéquation avec les besoins du territoire

Dans l'étude d'impact du projet global Cigéo, la disponibilité durable des ressources s'envisage selon cinq principes :

- de l'économie de l'eau potable dans les procédés du centre de stockage Cigéo ;
- de l'approvisionnement multiple par un maillage sécuritaire et capable de répartir la contrainte de prélèvement entre différents points de captage d'eau potable ;
- du réseau partagé dit de renforcement sécuritaire pour les différents syndicats associés au projet global Cigéo et pour le centre de stockage Cigéo ;
- de la disponibilité de ressources qualitatives et productives à long terme ;
- des modalités d'amélioration de la qualité de la ressource des aires d'alimentation des captages d'eau potable.

Pour définir comment économiser de l'eau potable au niveau du centre de stockage Cigéo, la méthode intègre à la fois :

- des éléments de conception (par exemple en ce qui concerne les filières de traitement des eaux usées ou de faisabilité des usages en cohérence avec les normes) ;
- des exigences de sûreté (exemple : qualité de l'eau recyclée nécessaire pour la fabrication des bétons spéciaux) ;
- des contraintes d'hygiène-sécurité (exemple : usages de l'eau dans les installations de fond, espaces confinés).

Ceci implique une évaluation quantitative du besoin annuel par période au sein des phases du projet global Cigéo (aménagements préalables, construction initiale et fonctionnement) selon une étude fine des besoins techniques et de la variation de l'effectif et de sa répartition sur les différentes installations du centre de stockage Cigéo.

Cette évaluation, d'une part des besoins spécifiques ou irréductibles d'eau potable et d'autre part d'eau recyclée (effluents épurés), permet de dégager des pointes de consommation. Ces pointes de consommation sont utilisées pour « calibrer » le futur dispositif technique et la production liée au projet global Cigéo et aux collectivités, au stade actuel de la faisabilité.

Cette étude de faisabilité quantitative intègre l'évolution du besoin des syndicats des eaux. L'évolution du besoin est en partie liée aux perspectives de développement économique et des populations, mais aussi à l'amélioration du rendement (fuite des réseaux actuels) de distribution.

Une convention qui liera directement l'Andra et le syndicat en responsabilité pour la distribution d'eau potable sur le territoire d'implantation du centre de stockage Cigéo est en cours de finalisation. Cette convention prévoit toutes les études à réaliser ou compléter aussi bien en matière de vérification des disponibilités quantitatives et qualitatives que sur le plan des schémas de d'adduction et d'interconnexions possibles. Les besoins en eau pour le centre de stockage Cigéo ayant déjà été exprimés et de nombreuses vérifications faites sur le plan de la disponibilité de la ressource, les études viseront à confirmer sa suffisance et cela, en envisageant différentes évolutions possibles tant sur le plan des besoins globaux du territoire (nouveaux projets, accroissement de certaines activités…) que sur un impact du changement climatique sur la ressource.

Cette convention résulte d'une longue concertation avec le territoire (près de 10 ans) qui a conduit à considérer que l'alimentation en eau du centre de stockage Cigéo par les infrastructures du territoire était à privilégier plutôt qu'une alimentation par une installation en propre de l'Andra, avec l'objectif que les études et les aménagements à réaliser intègrent, au-delà du seul objectif d'alimentation du centre de stockage Cigéo, une sécurisation quantitative et qualitative pour les différents utilisateurs du territoire.

Le besoin en eau potable du centre de stockage Cigéo est estimé à 500 m³/jour durant ses phases les plus consommatrices. Pour répondre à ce besoin, il a été vérifié soit par analyse bibliographique, soit par des essais de pompage que l'alimentation en eau du centre de stockage Cigéo était réalisable en recourant à trois captages existants : Échenay, Gondrecourt-le-Château et Thonnance-lès-Joinville.

La connaissance de la capacité de production des trois captages pressentis est fondée sur des études hydrogéologique et avis d'hydrogéologue agréé (état des ouvrages, fonctionnement des captages, marge de production, protection par déclaration d'utilité publique, etc.) :

- étude de restructuration du SIAEP de la région d'Échenay pour une alimentation depuis les sources de Thonnance, Artélia, février 2018 (97) ;
- forage d'alimentation en eau potable de Gondrecourt-le-Château : assistance à maîtrise d'ouvrage pour le suivi hydrogéologique des essais de pompage, rapport d'interprétation des essais, Artelia, mars 2018 (98) ;
- procédure de définition des périmètres de protection des captages AEP d'Échenay, Révision, Fradet, 2016 (99).

Les caractéristiques de ces trois captages sont repoprtées dans le Tableau 5-18.

Tableau 5-18 Caractéristiques principales des captages visés pour l'alimentation en eau du centre de stockage Cigéo

	Échenay	Gondrecourt-le-Château	Thonnance-lès-Joinville
Nom du captage	Forage F2 de 1977/Source Massonfosse	Forage du Muleau/de Dainville	Sources Clairefontaine et du Mont
Déclaration d'utilité publique (DUP)	05/12/2008 Débit cumulé disponible 41 m3/h	Forage du Muleau 26 janvier 1983 Débit autorisé de 100 m³/h pour un total de 1 200 m³/j Forage de Danville 26 janvier 1983 Débit autorisé de 30 m³/h pour un total de 300 m³/j	17 avril 1987 Pas de débit limité par la déclaration d'utilité publique (DUP)
Débit maximum actuellement prélevé (m³/j)	410	600	200
Débit maximum autorisé (m³/j)	540	1 500	Illimité
Tests productivité (m³/j) + mois du test	/ /	Forage La Muleau 2 300 Novembre 2017 Forage de Dainville : /	1855 Octobre 2015
Profondeur du captage	47,5 m	Forage La Muleau : 60 m Puits alluvial de Gondrecourt : 5 m	Source
Aquifère capté	Kimméridgien-Oxfordien	Oxfordien supérieur (forage la Muleau) Nappe alluviale Ornain (puits alluvial)	Kimméridgien-Oxfordien

Les valeurs dites « tests » sont à prendre à titre d'information car tous les tests n'ont pas nécessairement été réalisés dans les périodes les plus défavorables mais il permettent de mettre en évidence que l'alimentation en eau du centre de stockage Cigéo pourra être assurée sur le plan quantitatif par les trois captages existants cités ci-dessus et ce d'autant plus facilement que le principe retenu actuellement, s'il était confirmé par les études à venir, conduirait à alimenter le centre de stockage Cigéo pour partie par les disponibilités de la ressource des captages d'Échenay et Thonnance-lès-Joinville et pour partie par des disponibilités du captage de Gondrecourt-le-Château.

Aussi, bien que certains essais n'aient pas été réalisés en période de contraintes les plus fortes sur le captage de Gondrecourt-le-Château notamment, la disponibilité de la ressource en eau potable pour alimenter le centre de stockage Cigéo n'est pas remise en cause : la somme des débits autorisés des trois captages autorisés (>2 000 m³) excède largement les besoins cumulés des syndicats et du centre de stockage Cigéo. Pour autant, toutes les études de détails nécessaires pour arrêter le schéma industriel idoine et le justifier restent à venir en concertation avec le ou les Maîtres d'ouvrage de cette opération du projet global Cigéo.

5.2.1.2.1 Disponibilité de la ressource

La disponibilité de la ressource est étudiée au travers du bilan besoins/ressources qui consiste à vérifier que les besoins en eau du centre de stockage Cigéo sont compatibles avec la disponibilité de la ressource aux captages considérés et avec les besoins prévisionnels des collectivités. Le bilan a été établi pour les besoins en eau des phases d'aménagements préalables et construction initiale d'une part, et de la phase de fonctionnement d'autre part.Bilan besoins/ressources pour un raccordement depuis la Haute-Marne

Le tableau 5-19 présente le bilan besoins/ressources pour une alimentation depuis les captages d'Échenay et les sources de Thonnance-lès-Joinville en secours.

Tableau 5-19 Bilan besoins ressources depuis les captages ou sources des SIAEP d'Échenay et de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt

	Nom des ressources	Captage de Massonfosse et forage 1977 d'Échenay (Échenay) Source du Mont et source Claire Fontaine Thonnance (Thonnance)
Situation actuelle	Capacité de production des équipements en place ($m^3.j^{-1}$)	2 652
	Besoins moyen des SIAEP d'Échenay et de Suzannecourt ($m^3.j^{-1}$)	460
	Besoins de pointe des SIAEP d'Échenay et de Suzannecourt ($m^3.j^{-1}$)	777
	Bilan besoins/ressources	Excédent de 2 192 m³ un jour moyen et de 1 875 m³ un jour de pointe par rapport à la capacité des équipements en place
Situation future (aménagements préalables/construction initiale)	Besoins moyen des SIAEP d'Échenay et de Suzannecourt ($m^3.j^{-1}$)	660
	Besoin en eau du centre de stockage Cigéo ($m^3.j^{-1}$)*	250
	Besoins de pointe des SIAEP d'Échenay et de Suzannecourt ($m^3.j^{-1}$)	977
	Bilan besoins/ressources	Excédent de 1 742 m³ un jour moyen et de 1 425 m³ un jour de pointe par rapport à la capacité des équipements en place
Situation future (phase de fonctionnement)	Besoin en eau du centre de stockage Cigéo ($m^3.j^{-1}$)	50
	Bilan besoins/ressources	Excédent de 1 942 m³ un jour moyen et de 1 625 m³ un jour de pointe par rapport à la capacité des équipements en place

** Le besoin en eau du centre de stockage Cigéo est réparti à 50 % côté Marne et 50 % côté Ornain.*

La lecture du bilan besoins/ressources en eau permet de confirmer que les ressources combinées du SIAEP d'Échenay et du SIAEP de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt en complément, sont suffisantes (et même très excédentaires) pour subvenir à la fois aux besoins en eau des collectivités et à ceux du centre de stockage Cigéo.

5.2.1.2.2 Bilan besoins/ressources pour un raccordement depuis la Meuse

Le tableau 5-20 présente le bilan besoins/ressources pour une alimentation depuis le captage de la Muleau géré par le SIVU de Gondrecourt-le-Château.

Tableau 5-20 Capacité de production des captages d'eau potable de Gondrecourt-le-Château et besoins actuels et futures en eau potable

	Construction initiale/aménagements préalables	Phase de fonctionnement
Débit autorisé par la déclaration d'utilité publique (DUP) (forage de la Muleau) (26 janvier 1983) ($m^3.j^{-1}$)	1 200	
Besoins totaux un jour moyen de Bonnet, Houdelaincourt et besoin de pointe de Gondrecourt-le-Château ($m^3.j^{-1}$)	495	
Besoins du centre de stockage Cigéo ($m^3.j^{-1}$)	500	250
Bilan besoins/ressources	Excédent de 205 m³ un jour moyen par rapport à la capacité des équipements en place	Excédent de 455 m³ un jour par rapport à la capacité des équipements en place

La lecture du bilan besoins/ressources en eau permet de confirmer que les ressources issues du captage de la Muleau géré par le SIVU Haut Ornain sont suffisantes (et même très excédentaires) pour subvenir à la fois aux besoins en eau des collectivités et à ceux du centre de stockage Cigéo

5.2.2 Eaux superficielles

5.2.2.1 Évaluation des incidences pour le risque inondation

Une étude spécifique a été réalisée pour évaluer l'incidence du centre de stockage Cigéo sur les risques d'inondation des biens et des personnes liés à un débordement des cours d'eau de l'Orge, de la Bureau et de l'Ormançon.

Les critères de caractérisation des incidences potentielles du projet global Cigéo sur le risque d'inondation ont été évalués à partir des éléments suivants :

- données climatologiques ;
- données sur l'imperméabilisation prévisionnelle des surfaces raccordées aux dispositifs de gestion des eaux pluviales en zones descenderie et en zone puits aux différentes phases (aménagements préalables, construction initiale, fonctionnement) ;
- données sur l'imperméabilisation prévisionnelle des surfaces non raccordées aux dispositifs de gestion des eaux pluviales autour des zones descenderie et puits ;
- données sur l'imperméabilisation prévisionnelle des surfaces raccordées aux dispositifs de gestion des eaux pluviales de la liaison intersites, de l'installation terminale embranchée, du poste électrique RTE, de la ligne ferroviaire n° 027000 telles que connues au stade de la présente étude d'impact.

Les critères de caractérisation des incidences résiduelles (c'est-à-dire après application des mesures d'évitement et de de réduction) du projet global Cigéo au risque d'inondation ont été définis comme suit :

- inventaires des mesures d'évitement et de réduction pour le centre de stockage Cigéo et des principes de mesures pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage ;
- description des mesures d'évitement et de réduction ;
- évaluation de l'incidence résiduelle ;
- description des modalités de suivi de ces mesures.

Certains facteurs de ruissellement peuvent évoluer tout au long de la phase de déploiement du projet global Cigéo et du fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Ces variations ne peuvent pas encore être évaluées. À moyen et long terme, l'évolution climatique elle-même ou celle des techniques de traitement, celle de l'état de surface des bassins-versants en dehors de la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo et encore celle de la règlementation pourront justifier l'adaptation des dispositifs de gestion des eaux pluviales par des redimensionnements à la hausse ou à la baisse, le cas échéant, en utilisant les meilleures techniques disponibles.

5.2.2.2 Modélisation hydraulique

Afin d'évaluer l'incidence résiduelle (après mise en œuvre des mesures de gestion des rejets liquides décrites ci-avant) du centre de stockage Cigéo sur le risque d'inondation des biens et de personnes liées à un débordement direct des cours d'eaux, une série de modélisations hydrauliques a été réalisée.

Le risque d'inondation, après mises en œuvre des mesures de réduction, est évalué au droit de :

- l'Orge, en amont de la commune de Saudron ;
- l'Ormançon, en amont de la ferme Saint-Thiébaut ou en amont du chemin situé à proximité du lieu-dit Maison Blanche ;
- la Bureau, en amont de la route départementale D175a.

L'incidence du centre de stockage Cigéo a été évaluée pour :

- l'état initial, avec une période de retour pluviométrique de 10 ans et 100 ans ;
- la phase de construction initiale, avec une période de retour pluviométrique de 10 ans ;
- la phase de fonctionnement, avec une période de retour de 100 ans.

L'état initial est simulé avec les pluies de temps de retour 10 ans et 100 ans afin de bénéficier d'une base de référence des changements possibles de débits et d'extension des zones inondées. Pour ces scénarios de simulation, les surfaces des bassins versants sont égales aux surfaces naturelles.

La phase de construction initiale est analysée avec une période de retour pluviométrique de 10 ans. La phase de fonctionnement est analysée avec une période de retour pluviométrie de 100 ans. Ces deux phases comprennent la construction des ouvrages de gestion des eaux. Ces ouvrages sont des bassins de rétention qui permettent d'éviter une aggravation du risque d'inondation en aval des points de rejet des eaux pluviales du centre de stockage Cigéo. Les eaux pluviales des nouvelles surfaces imperméabilisées créées par la construction du centre de stockage Cigéo sont acheminées vers les bassins de rétention. Les bassins de rétention de la liaison intersites et de l'installation terminale embranchée sont considérés transparents aux écoulements. C'est une hypothèse conservatrice car le bassin de rétention induit une diminution des débits de pointes. Pour le bassin de rétention des eaux pluviales de verse, un seul point de rejet (le plus en aval) est considéré. Les rejets se font dans l'Ormançon, l'Orge et la Bureau.

Pour les scénarios de simulation en phase de construction initiale et en phase de fonctionnement, les surfaces drainées vers les bassins de rétention sont soustraites des surfaces naturelles.

La délimitation des bassins versants a été réalisée à l'aide d'un logiciel SIG (QGIS) avec l'hypothèse d'une surface d'accumulation d'écoulement de 2 km^2.

Les bassins sont subdivisés en deux points spécifiques :

- les intersections entre les routes et le lit de la rivière ;
- le point de rejet des bassins de rétention.

La subdivision a deux objectifs :

- pouvoir saisir le débit des bassins de rétention dans le modèle hydraulique ;
- donner un débit aux points juste en amont des ouvrages d'art construits dans le lit de rivière.

La simulation hydraulique est réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS (*River Analysis System*). HEC-RAS est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau en modélisation 1D. L'écoulement est simulé en régime transitoire avec prise en compte de la résistance à l'écoulement par le lit de la rivière (coefficient de Manning). De cette manière, l'accumulation d'eau en amont des ouvrages d'art est entièrement modélisée. Les distributions spatiales des hauteurs d'eau simulées lors des crues décennales et centennales dans l'Orge, la Bureau et l'Ormançon sont présentées dans le chapitre 5 du volume IV de la présente étude d'impact.

5.2.2.3 Définition de la « pluie de référence » ou pluie projet

D'après le guide n° 13 de l'Autorité de sûreté nucléaire (100) concernant la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes, les pluies de références doivent être quantifiées à partir d'une étude statistique des données de pluies mesurées à une station météorologique représentative des conditions du site et avec une période de retour suffisante. Les pluies de référence sont prises en compte pour le dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales et des ouvrages hydrauliques.

Le choix de la station de référence repose essentiellement sur les trois critères suivants : sa situation géographique et en particulier sa proximité au site d'étude, le nombre d'années de mesures et la fiabilité des données ajustées. La station météorologique retenue pour l'évaluation de la pluie de référence est la station de Cirfontaines-en-Ornois, située à proximité du site (5,70 km du centre de stockage Cigéo). Cette station est considérée plus sécuritaire pour le dimensionnement des réseaux, qui constituent les seuls ouvrages susceptibles d'impacter les installations nucléaires en cas d'insuffisance.

La pluie de référence est déterminée en réalisant un ajustement de Montana majorant des cumuls de hauteur de pluies issues de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %. Chaque pluie est définie par une hauteur de précipitations cumulées pendant une durée donnée. La formule de Montana est utilisée et ajustée afin de relier l'intensité de la pluie i(t) (mm/min) à la durée de l'épisode pluvieux t (min) pour une période de retour donnée (100 ans : pluie centennale). La formulation de la loi de Montana est la suivante : $i(t) = a \times t-b$.

Les pluies dimensionnantes pour les réseaux de collecte sont des pluies de projet centennales du type « double-triangulaire ». Plusieurs configurations de ces pluies sont utilisées pour éprouver le réseau. Les pluies projet de

type double-triangulaire sont déterminées sur la base d'un ajustement majorant de la formule de Montana. Les pluies de projet ainsi adoptées pour les modèles hydrauliques des réseaux sont de durée globale de quatre heures et de durée intense variant de six minutes à une heure. En fonction notamment des paramètres pluviométriques calculés au préalable, les hyétogrammes de pluie centennale, représentant l'intensité de la pluie en fonction du temps, sont définis.

La définition des « pluies de projet » au sens large sert de données d'entrée aux différentes études de dimensionnement et de modélisation hydraulique des réseaux de collecte des eaux pluviales du centre de stockage Cigéo ainsi qu'au dimensionnement des bassins multifonctions.

La démarche globale de l'analyse hydrologique pour la définition de la pluie projet est la suivante :

- détermination des cumuls de hauteur de pluie pour une certaine durée de cumul et une période de retour donnée ;
- définition des coefficients de Montana pour chaque station pluviométrique ;
- définition des pluies centennales dimensionnantes pour les futurs réseaux.

Un ajustement statistique a été effectué pour les stations pluviométriques du Laboratoire et d'Houdelaincourt afin de juger de la représentativité de la station de référence considérée (station de Cirfontaines-en-Ornois) et des stations pluviométriques entre elles.

5.2.2.3.1 Caractéristiques des stations pluviométriques pour la définition de la pluie projet du centre de stockage Cigéo

Les données pluviométriques disponibles recensés autour du centre de stockage Cigéo sont les suivantes :

- les données des stations pluviométriques Météo-France de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois ;
- les données des stations pluviométriques exploitées par l'Andra : stations d'Houdelaincourt et de Bure (*i.e.* Site du Laboratoire souterrain) ;
- les données SHYREG disponibles au droit des sites puits et descenderie de la zone de projet.

Les caractéristiques de ces données pluviométriques sont présentées dans le tableau 5-21. La localisation des stations pluviométriques est indiquée sur la figure 5-40.

Tableau 5-21 Caractéristiques des données pluviographiques disponibles pour la définition des pluies de référence

Station	Code station (réf. Organisme)	Altitude (m NGF)	Organisme exploitant	Distance au centre de stockage Cigéo [1] [km]	Intervalle de mesure			Données mesurées		
					Borne inférieure	Borne supérieure	Nombre d'années de mesure	Pas de temps		Type
								Nature	Durée (min)	
Saint-Dizier	52448001 (Météo-France)	139	Météo-France	36,8	1982	2016	34	Non-centré	6	Pluviomètre
Cirfontaines	52131002 (Météo-France)	374	Météo-France	5,70	1997	2016	19	Non-centré	6	Pluviomètre
Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne	EST6000 (Andra)	-	ANDRA	À proximité immédiate	6/1/2001	31/05/2016	15	Non-centré	60	Pluviomètre
Houdelaincourt	55248001 (Météo-France)	390	Météo-France	12,7	29/04/2011	9/6/2017	6	Non-centré	60	Pluviomètre
Saudron[2]	-	-	IRSTEA	À proximité immédiate	-	-	-	Non-centré	60	Pluviomètre Shyreg
Mandres[2]	-	-	IRSTEA	À proximité immédiate	-	-	-	Non-centré	60	Pluviomètre Shyreg

[1] La distance au centre de stockage Cigéo s'entend comme la distance entre la station pluviométrique et un point fictif situé entre la zone puits et la zone descenderie

[2] Ces stations indiquant des quantités de cumuls de hauteur d'eau à partir des modèles SHYREG sont, en réalité, virtuelles. Elles représentent, en effet, la pluviométrie sur une zone de surface de 1 km².

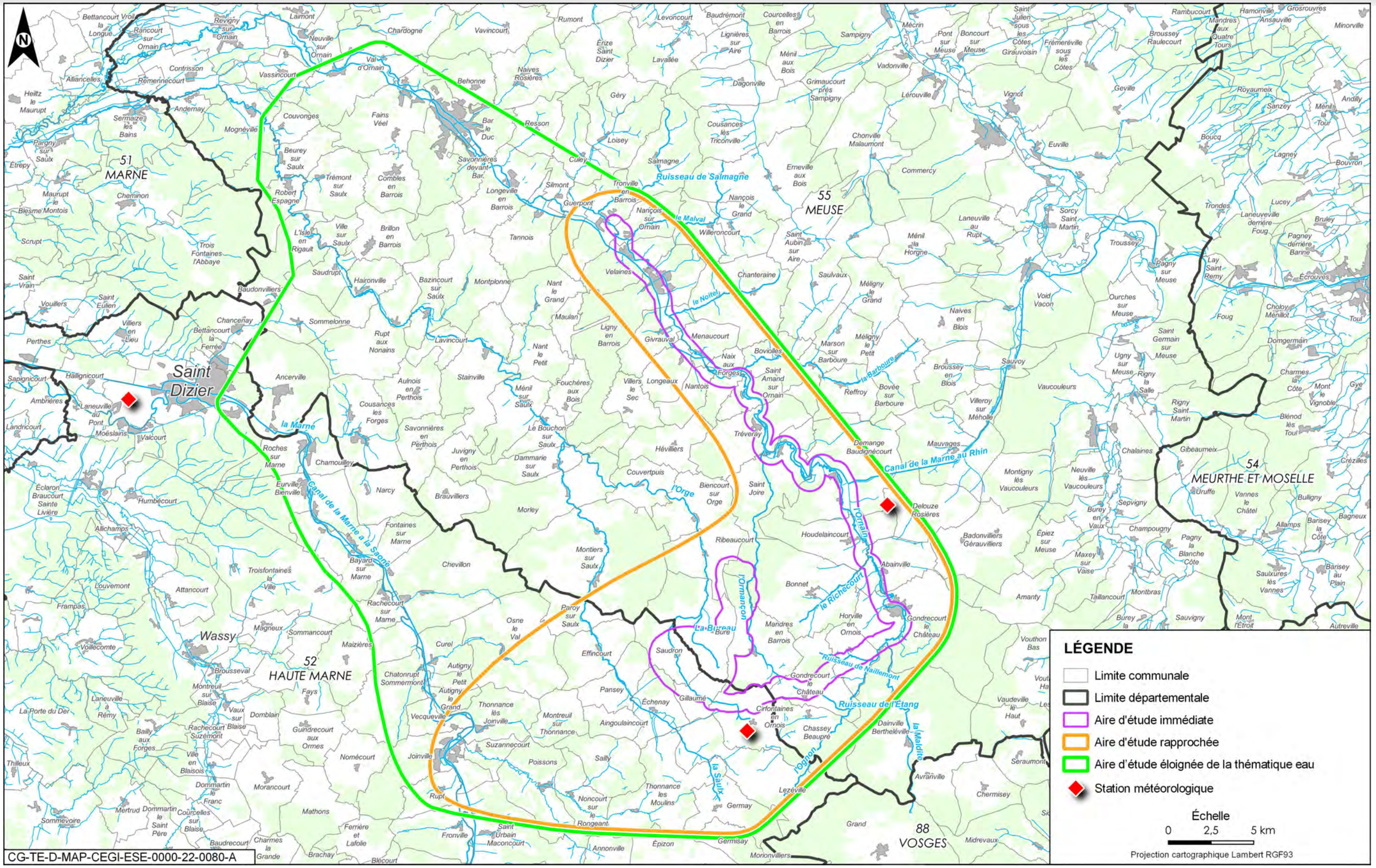


Figure 5-40 Carte de localisation des stations de mesure pluviographiques

5.2.2.3.2 Nature des données d'entrées

a) Cumul de hauteur de pluie – démarche statistique « classique »

À partir des chroniques de données pluviométriques disponibles en un lieu donné et sur une longue période (*i.e.* Cumul de hauteur de pluie en fonction de la durée de cumul), il est possible d'évaluer la période de retour d'un cumul de hauteur de pluie. Pour cela, un ajustement statistique est réalisé à partir d'un échantillon de cumuls de hauteurs maximales de pluie.

En hydrologie, il est généralement admis qu'il ne faut pas extrapoler les valeurs au-delà de trois à quatre fois la durée de l'échantillon, en fonction notamment du type d'ajustement réalisé et des données disponibles.

L'autre limite à cette méthode est que les résultats ne peuvent s'utiliser que dans le voisinage proche de la station météo de référence. Cette méthode permet d'obtenir des hauteurs de pluies correspondant aux pas de temps de 6 minutes à 72 heures pour des durées de retour de l'ordre de la semaine à 100 ans aux postes pluviographiques.

Il est à noter que ces valeurs statistiques de cumul de hauteur de pluie fournissent des ordres de grandeur, mais nécessitent avant exploitation une analyse de leur représentativité pour la zone d'étude.

Enfin, il est à noter que ce type d'analyse permet la définition d'un intervalle de confiance, au sens statistique, pour la valeur centrale du quantile de cumul de hauteur de pluie. Cette notion d'intervalle de confiance autour d'une valeur centrale permet de se prémunir de l'incertitude liée à la fluctuation d'échantillonnage. Pour mémoire, le guide n° 13 de l'ASN (100) préconise la prise en compte des valeurs de cumul de hauteur de pluie centennale correspondante à la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de la valeur centrale. Ainsi, le réseau hydraulique de collecte des eaux pluviales du centre de stockage Cigéo est dimensionné de manière à pouvoir absorber en probabilité 97,5 % des événements de pluie.

b) Cumul de hauteur de pluie – démarche statistique « Shyreg »

Cette méthode a été développée conjointement par le CEMAGREF (*i.e.* Actuel IRSTEA) et Météo-France. Elle est basée sur la constitution de séries fictives de pluviométrie générées à partir de séries réellement mesurées sur plusieurs dizaines d'années. Les hauteurs de pluie correspondantes aux différentes durées de retour sont estimées par calcul de fréquence à partir de la série multicentennale fictive obtenue. Ces calculs ont été réalisés sur plusieurs centaines de séries pluviométriques représentatives en France. Les hauteurs de pluie de référence ainsi obtenues ont ensuite été interpolées à l'échelle de l'hexagone à la résolution kilométrique en tenant compte du relief (pente, exposition, altitude…). La méthode a permis de produire une régionalisation des pluies selon une maille de 1 km.

La méthode SHYREG donne des résultats généralement cohérents avec les calculs classiques réalisés à partir des relevés pluviométriques des stations de Météo-France. Elle permet d'obtenir des hauteurs de pluies correspondant aux pas de temps de 1 heure à 72 heures pour des durées de retour 2 ans à 100 ans pour chaque point de référence de la zone de projet.

c) Coefficients pluviométriques de Montana

Les coefficients pluviométriques de Montana sont essentiellement utilisés en hydrologie, pour leur aspect pratique. Ils permettent, en effet, par la donnée de deux coefficients, de caractériser, pour une période de retour donnée et dans un certain intervalle de durée de cumul, l'ensemble des hauteurs de pluie précipitées. Ils sont donc établis à partir d'un jeu de données de hauteurs d'eau précipitées pour une certaine durée de cumul. Par construction, il s'agit en fait d'un ajustement qui résulte donc d'un choix de l'hydrologue ou du client sur les marges de sécurité à adopter pour le dimensionnement d'un ouvrage ou la conception d'une pluie de projet.

Les coefficients de Montana permettent d'agréger de manière très efficace la donnée de l'évolution des cumuls de hauteurs maximales moyennes de pluies précipitées sur une durée de cumul en fonction de la durée de cumul. Avec l'ajustement de Montana, deux paramètres (*i.e.* Les paramètres de Montana) sont nécessaires pour définir la loi de l'évolution de la hauteur maximale moyenne de pluie précipitée sur une durée de cumul en fonction de la durée de cumul. Le formalisme de la loi de Montana est présenté ci-après.

Tableau 5-22 Formalisme de Montana

$i_{(T)} = a_{(T)}.t^{-b_{(t)}}$ $h_{(T)} = a_{(T)}.t^{1-b_{(t)}}$	• i [mm/min] : Intensité pluviographique maximale (1) ; • h [mm] : Hauteur de pluie précipitée durant la durée de cumul (1) ; • a(T) [mm/min], b(T) : paramètres pluviométriques de Montana pour la période de retour T ; • t [mn] : durée de cumul.

[1] S'il s'agit de données fournies par Météo-France, une correction de Weiss est appliquée afin d'obtenir l'intensité pluviographique ou la hauteur précipitée de la pluie centrée nécessaire au dimensionnement des aménagements hydrauliques de collecte des eaux pluviales pour le centre de stockage Cigéo.

d) Chroniques pluviométriques de hauteur de pluie

Les chroniques pluviométriques de hauteur de pluie constituent les données brutes mesurées au pluviomètre. Il s'agit de couples de valeurs indiquant pour chaque incrément de temps, la hauteur précipitée durant le dernier pas de temps. En France, le pas de temps minimal de la mesure de la donnée pluviométrique est de six minutes. De plus, la mesure est dite non-glissante (*i.e.* La chronique s'établit comme suit – première mesure entre 00 h 00 et 00 h 06, seconde mesure entre 00 h 06 et 00 h 12, etc.).

Cette mesure non glissante à pas de temps fixe introduit un biais dont il convient de tenir compte en hydrologie. En effet, un bloc de pluie qui serait à cheval sur deux pas de temps de mesure, verrait finalement son intensité mesurée plus faible que ne le serait l'intensité réelle. L'étude de Weiss, qui a pour but de corriger ce biais conduit à l'application d'un coefficient correcteur à appliquer sur les mesures pluviométriques non centrées. C'est ainsi que la pluie centrée de x minutes (*i.e.* Celle qui est dimensionnante et utilisée en hydraulique) est obtenue à partir du produit de la pluie non centrée mesurée sur x minutes et du coefficient de Weiss.

L'expérience permet d'affirmer que la correction de Weiss est parfaitement légitime (Hydrologie fréquentielle : une science prédictive, Meylan *et al.*, 2008 (101)). L'utilisation du formalisme de Weiss pour « recentrer » les pluies est préconisée par le guide n° 13 de l'ASN (100).

5.2.2.3.3 Liste des données d'entrée

Les données d'entrée sont présentées ci-après.

a) Analyse hydrologique

La démarche globale de l'analyse hydrologique pour la définition de la pluie projet est la suivante :

- détermination des cumuls de hauteur de pluie pour une certaine durée de cumul et une période de retour donnée ;
- définition des coefficients de Montana pour chaque station pluviométrique ;
- définition des pluies centennales dimensionnantes pour les futurs réseaux.

Un ajustement statistique a été effectué pour les stations pluviométriques du Laboratoire et d'Houdelaincourt afin de juger de la représentativité de la station de référence considérée (station de Cirfontaines-en-Ornois) et des stations pluviométriques entre elles.

b) Coefficients de Montana

Tableau 5-23 Données d'entrée – Caractéristiques des coefficients de Montana

Station	Période de retour (ans)	Intervalle de validité		Ajustement fréquentiel			Ajustement loi Quantile = f (Durée de cumul)	
		Borne Inférieure (min)	Borne Supérieure (min)	Organisme	Type d'ajustement	Résultat	Organisme	Type d'ajustement
Saint-Dizier	5,10,20, 30,50,100	6	30	MeteoFrance	Extrême généralisé, Locale Régionale (GEV)	Valeur médiane	MeteoFrance	Montana - Moyen
		30	1440					
		1440	5760					
Cirfontaines	5,10,20,30,50,100	6	30	MeteoFrance	Extrême généralisé, Locale Régionale (GEV)	Valeur médiane	MeteoFrance	Montana - Moyen
		30	1440					
		1440	5760					

c) Quantiles de hauteur d'eau

Tableau 5-24 Données d'entrée – Quantiles de hauteur d'eau

Station	Période de retour	Durée de cumul	Ajustement fréquentiel		
			Organisme	Type d'ajustement	Résultat
Saint-Dizier	2,5,10,20, 30,50,100	6,15,30,60,120, 180,240,360,720, 1440,2880,5760	Météo-France	Extrêmes généralisées – locale régionale (GEV – Loc. Reg.)	Val. médiane, borne inf. IC 95 % borne sup IC 95 %
Cirfontaines	2,5,10,20, 30,50,100	6,15,30,60,120, 180,240,360,720, 1440,2880,5760	Météo-France	Extrêmes généralisées – locale régionale (GEV – Loc. Reg.)	Val. médiane, borne inf. IC 95 % borne sup IC 95 %
Saudron	2,5,10,20, 30,50,100	60,120, 180,240,360,720, 1440,2880,5760	Météo-France	Shyreg	Val médiane
Mandres	2,5,10,20, 30,50,100	60,120, 180,240,360,720, 1440,2880,5760	Météo-France	Shyreg	Val médiane

d) Détermination des cumuls de hauteur de pluie selon la période de retour à durée de cumul fixée

Un des problèmes fréquemment posés à l'hydrologue est la connaissance de la valeur extrême d'un paramètre pluviométrique en un point donné. Une première réponse à cette question est la communication d'un record, portant sur une série de mesure plus ou moins longue. Mais un record est par définition toujours susceptible d'être dépassé. De plus si Météo-France dispose de séries très longues et spatialement denses pour certains paramètres (par exemple, précipitations quotidiennes), c'est loin d'être le cas pour tous les paramètres (par exemple, précipitations à pas de temps fins). Dans ce cas, la représentativité d'un record est très limitée.

De plus, dans divers domaines d'activités tributaires des conditions atmosphériques – et notamment ceux liés à l'évacuation des eaux pluviales, au débit des cours d'eau, à l'irrigation – l'analyse statistique des données climatologiques fournit des éléments objectifs permettant de prendre les décisions utiles lors de l'établissement de plans à long terme. Et comme il s'agit souvent d'évaluation de risques, les résultats sont, le plus souvent, exprimés en termes de fréquence ou sous forme probabiliste.

Partant des séries observées, la détermination des durées de retour de phénomènes extrêmes consiste alors à calculer quelles sont les valeurs du paramètre susceptibles d'être dépassées en moyenne une fois tous les 5, 10, 20, 30, 50 ou 100 ans... Les estimations obtenues sont toujours accompagnées d'un intervalle de confiance, calculé notamment à partir de l'échantillon de mesures à disposition.

Lorsque la densité spatiale des séries de mesures fait défaut (notamment précipitations à pas de temps fins), on peut être tenté de réaliser une interpolation spatiale des estimations. Il faut savoir que les extrêmes sont très dépendants de l'environnement immédiat du poste de mesure. Cet exercice est donc périlleux et déconseillé. Néanmoins, l'IRSTEA a développé pour le paramètre « précipitations » une méthode nommée SHYREG permettant d'y remédier. Celle-ci produit une estimation de quantiles de pluie pour des cumuls allant de 1 heure à 72 heures et des durées de retour de 2 ans à 100 ans disponibles sur une grille de 1 km de résolution. Ces estimations sont obtenues par simulations de longues chroniques de pluie à l'aide d'un générateur stochastique de pluies horaires.

Jusqu'en 2012, les durées de retour de précipitations étaient estimées à Météo-France au moyen de la méthode du renouvellement et de la méthode GEV appliquée localement (loi généralisée des extrêmes, *Generalized Extreme Value distribution*, qui permet d'obtenir des ajustements de niveaux de retour à partir des *maxima* annuels).

En 2013, Météo-France a décidé de limiter sa production aux seuls ajustements issus de méthode GPD (*Generalized Pareto Distribution* ou renouvellement) avec pour estimateur la méthode des « moments pondérés » et pour méthode de sélection de seuil, celle développée pour les rafales de vent. Météo-France n'a calculé les ajustements que sur des séries postérieures à 1960 pour éviter les problèmes liés aux données anciennes douteuses ou aux tendances climatiques.

En 2016, le projet ANR EXTRAFLO (2009-2013) relatif à l'inter-comparaison des méthodes d'estimation des pluies extrêmes, a mis en évidence le manque de robustesse des méthodes locales issues de la théorie des valeurs extrêmes. Il a également démontré que les méthodes régionales et locales-régionales fournissaient des meilleures estimations (ex : SHYREG basé sur un générateur stochastique ou la méthode d'estimation d'Hydro-Sciences Montpellier (HSM) basée sur une loi locale-régionale GEV issue de la théorie des valeurs extrêmes).

Météo-France estime donc à présent les durées de retour de précipitations selon une forme locale-régionale grâce à une adaptation de la loi extrême GEV (LR-GEV : Locale-Régionale GEV). Cependant, l'utilisation de cette méthode LR-GEV s'avère parfois impossible et ceci provoque de trop nombreux manques dans la production. Ainsi, il a été décidé d'utiliser conjointement la méthode LR-GEV et la méthode locale Pareto pour estimer les durées de retour manquantes.

5.2.2.3.4 Détermination des coefficients de Montana

a) Méthodologie

Pour une même station de mesure, une projection des données de hauteur de pluie sur un repère graphique « log-log » (*i.e.* Sur l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées), repère graphique naturel de la loi de Montana est effectuée. En effet, dans ce type de repère, la loi de Montana – exponentielle formellement – prend la forme d'un segment de droite. Sont affichés les jeux de données médianes et issues de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %.

Différents ajustements sont entrepris :

- sur les quantiles de hauteurs d'eau médians :
  - ✓ ajustement majorant et continu des données ;
  - ✓ ajustement moyen et continu des données ;
- sur les quantiles de hauteur d'eau issus de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % :
  - ✓ ajustement majorant et continu des données ;
  - ✓ ajustement moyen et continu des données.

La continuité (*i.e.* Continuité « C_0 » au sens mathématique du terme) de l'ajustement garantit l'absence de « saut » entre données de hauteur ou d'intensité de pluie qui seraient calculées à partir de deux ajustements voisins de Montana.

L'ajustement majorant d'un jeu de donnée de hauteur de pluie s'entend comme étant l'ajustement permettant d'obtenir, à partir de celui-ci, une hauteur de pluie égale ou supérieure à la hauteur de pluie de la donnée brute, pour chaque durée de cumul.

L'ajustement moyen d'un jeu de donnée de hauteur de pluie s'entend, quant à lui, comme étant l'ajustement optimum obtenu à partir d'une méthode des moindres carrés, pour chaque intervalle de validité puis réajusté pour tenir la condition de continuité entre ajustements voisins. Les intervalles de validité sont choisis de manière à maximiser le coefficient de corrélation de l'ajustement.

Enfin les règles suivantes ont également été employées pour la détermination des différents ajustements :

- pour la station de Cirfontaines-en-Ornois, les données médianes utilisées sont les valeurs médianes les plus élevées entre les jeux de données Shyreg et les jeux de données médians issus des derniers ajustements de Météo-France ;
- pour la station de Cirfontaines-en-Ornois, les données issues de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % doivent être plus élevées que les données Shyreg. Le cas échéant, le jeu de données Shyreg est utilisé ;
- pour la station de Saint-Dizier, les règles définies ci-avant ne sont pas utilisés. Le jeu de données Shyreg disponible ne s'applique pas ;
- concernant l'ajustement médian des coefficients de Montana, le coefficient de régression linéaire de l'ajustement doit être supérieur à 0,95. Le cas échéant, les valeurs « exotiques » sont écartées.

Huit ajustements des quantiles de cumuls de hauteurs de pluie à une loi de Montana ont été réalisés, par période de retour (*i.e.* Un ajustement – majorant ou moyen - par jeu de données de cumul de hauteur d'eau– médian ou borne sup.95 % et par station de mesure pluviométrique).

b) Résultats

Les résultats sont présentés en annexe 3 du présent volume sous la forme suivante :

- tableau des différents coefficients de Montana. Pour mémoire, on rappelle que ces coefficients de Montana ont été ajustés sur des données de pluie non centrées mais pour lesquelles le coefficient de Weiss a été appliqué et permet donc de considérer ces paramètres comme étant établis sur une pluie centrée ;
- graphique d'ajustement à la loi de Montana pour chaque station ;
- tableau d'analyse des ajustements.

c) Choix du type d'ajustement de Montana pour le dimensionnement des bassins et des réseaux

L'Andra a choisi d'utiliser un ajustement de Montana majorant issu des cumuls de hauteur de pluie correspondants à la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %.

d) Choix de la station retenue

Le choix de la station de référence repose essentiellement sur les trois critères suivants :

- la situation géographique et en particulier sa proximité au site d'étude ;
- le nombre d'années de mesures ;
- la fiabilité des données ajustées.

Le tableau d'aide à la décision utilisé est présenté ci-après. La station de Cirfontaines-en-Ornois présente une plus grande proximité du centre de stockage Cigéo que celle de Saint-Dizier. À l'inverse, la station de Saint-Dizier, plus ancienne, présente davantage d'années de mesures que celle de Cirfontaines-en-Ornois. Néanmoins, ce manque de données dont pourrait souffrir la station de Cirfontaines peut être compensé, au moins en partie, par l'analyse fréquentielle régionalisée menée autour de cette station.

» STATION DE RÉFÉRENCE

La station de Cirfontaines-en-Ornois est considérée comme station de référence car plus sécuritaire pour le dimensionnement des réseaux, qui constituent les seuls ouvrages susceptibles d'impacter les installations nucléaires en cas d'insuffisance. Pour mémoire, les bassins disposent d'une surverse orientée vers les milieux naturels (*i.e.* Cours d'eau) et ne sont donc pas susceptibles d'impacter directement les installations nucléaires.

Tableau 5-25 Tableau d'aide à la décision pour le choix de la station de référence pour la pluie projet

	Cirfontaines-en-Ornois	Saint-Dizier
Proximité au centre de stockage Cigéo	Proche (5,70 km)	Éloignée (36,8 km)
Nombre d'années d'analyse [ans]	19	34
Ajustement	GEV local régional	GEV local régional
Prévisibilité attendue	80 ns	140 ans
Comportement relatif – cumul <60 min	+	-
Comportement relatif – cumul >60 min	+	-
Sensibilité relative au dimensionnement de réseau	Oui (plus sécuritaire pour Cirfontaines-en-Ornois)	
Sensibilité relative au dimensionnement de bassin	Oui (plus sécuritaire pour Cirfontaines-en-Ornois)	

5.2.2.3.5 Définition des pluies centennales de référence

L'emploi des deux types de pluies de projet est utilisé pour le centre de stockage Cigéo :

- une ou plusieurs pluies de projet de type « double-triangulaire » pour les modélisations hydrauliques. Les différentes pluies double-triangulaire varient selon le critère « durée intense de la pluie ». Disposer d'une gamme de pluies de projet plutôt que d'une seule pluie permet de mieux appréhender le fonctionnement d'un réseau de collecte des eaux pluviales et ses points de débordements potentiels ;
- une pluie de projet de type « Keiffer » pour la modélisation globale du réseau du centre de stockage Cigéo.

L'annexe 4 du présent volume comprend pour les deux types de pluie les objectifs des pluies définies, la méthodologie employée et les résultats obtenus.

5.2.2.3.6 Conclusion générale sur le choix des pluies de projet pour le centre de stockage Cigéo

La définition des « pluies de projet » au sens large qui servent de données d'entrée aux différentes études de dimensionnement et de modélisation hydraulique des réseaux de collecte des eaux pluviales du centre de stockage Cigéo ainsi qu'au dimensionnement des bassins multifonctions est la suivante :

La station de Cirfontaines-en-Ornois est retenue comme station de référence. Le cumul des pluies à cette station est présenté sur la figure 5-41.

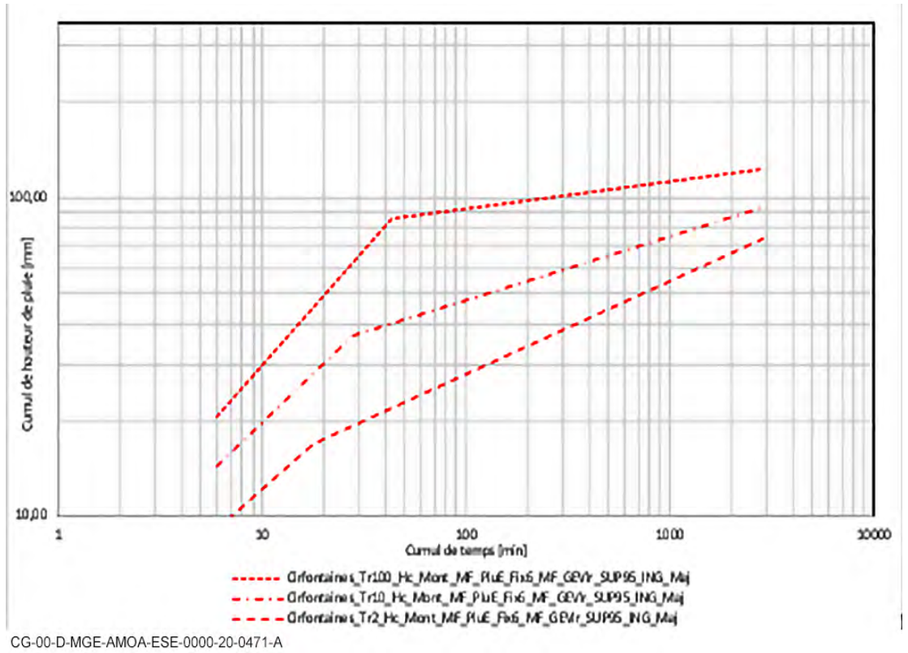


Figure 5-41 Cumul des pluies à Cirfontaines-en- Ornois

Les coefficients de Montana de la station de référence sont rappelés ci-après. Il s'agit, pour mémoire, des coefficients issus d'un ajustement de Montana majorant des cumuls de hauteur de pluies issus de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % (Météo-France, 2017).

Tableau 5-26 Coefficients de Montana – Cirfontaines

Station	Période de retour - T_{retour} [ans]	Domaine de validité - cumul de temps [min]		a [mm/min]	B [-]
		Borne Inf.	Borne Sup.		
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	6	18	3,326	0,437
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	18	2880	7,297	0,709
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	6	28	4,750	0,388
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	28	2880	18,629	0,798
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	100	6	43	5,539	0,271
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	100	43	2880	62,625	0,916

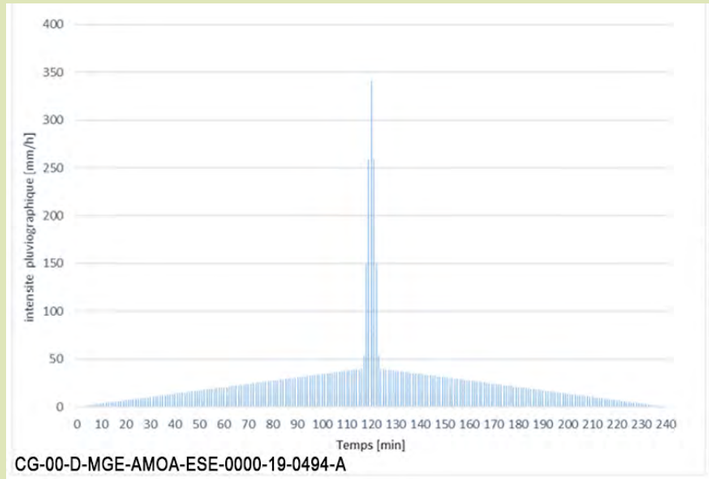
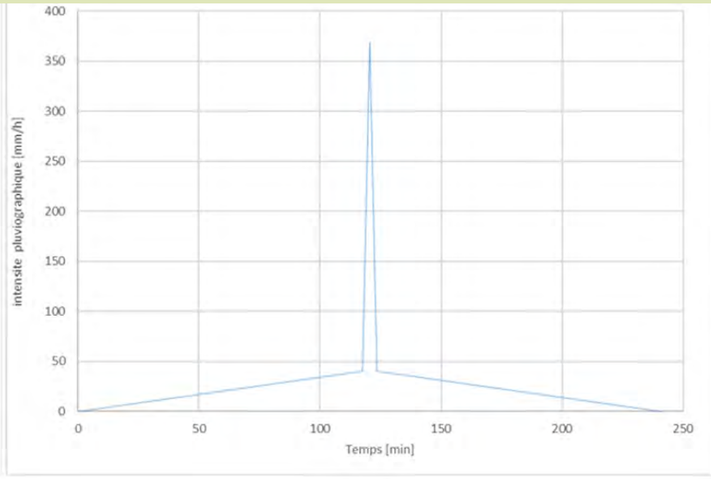
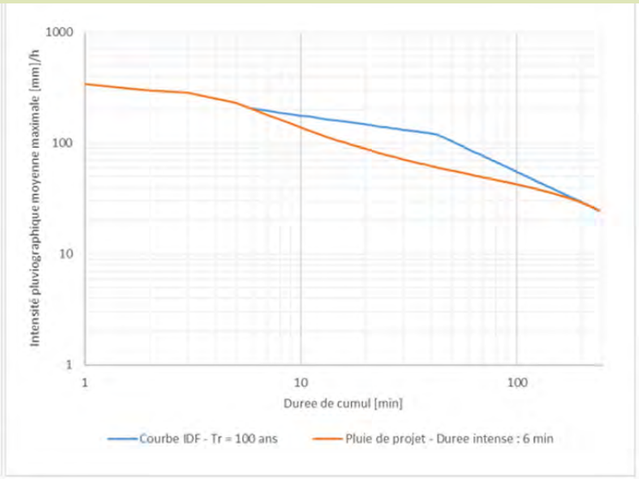
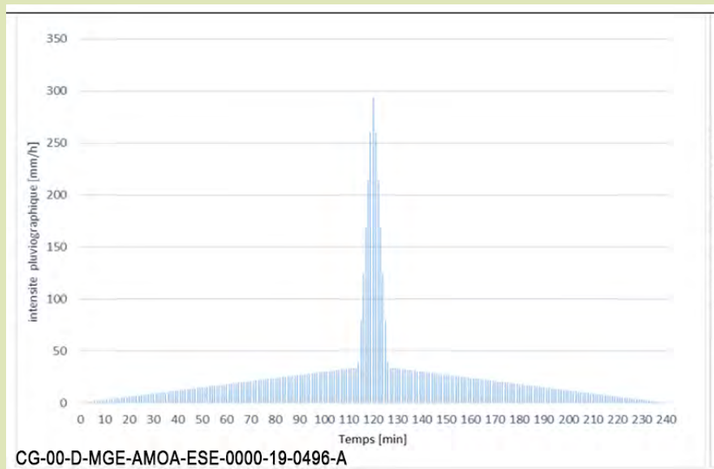
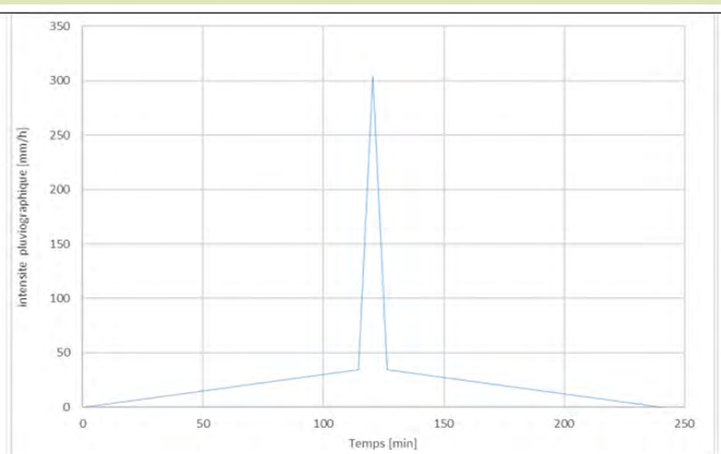
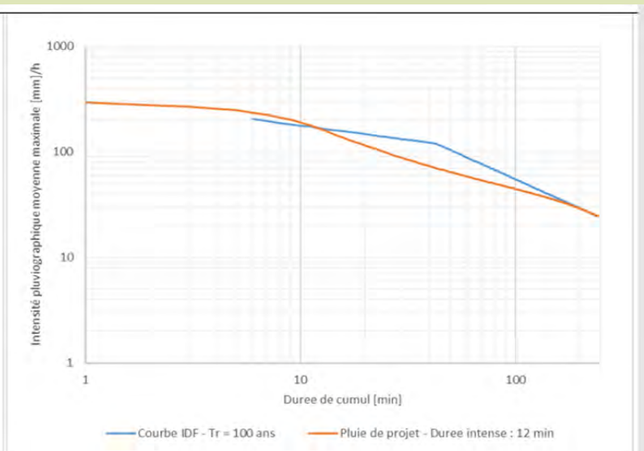
Les pluies de projet adoptées pour les modèles hydrauliques des réseaux du centre de stockage Cigéo sont des pluies « double-triangulaire » de durée globale de quatre heures et de durée intense variant entre six minutes à une heure. Les hyétogrammes instantanés sont rappelés ci-après. Le pas de temps de discrétisation est fixé à une minute. Si besoin, les hyétogrammes discrétisés sont présentés en tableau 5-27.

Tableau 5-27 Hyétogrammes instantanés – Cirfontaines-en-Ornois

Durée intense [min]	N° point	Temps [min]	Intensité	
			[mm/min]	[mm/h]
6	1	0	0,00	0,00
	2	117,5	0,67	40,27
	3	120,5	6,14	368,65
	4	123,5	0,67	40,27
	5	241	0,00	0,00
12	1	0	0,00	0,00
	2	114,5	0,57	34,28
	3	120,5	5,08	304,58
	4	126,5	0,57	34,28
	5	241	0,00	0,00
18	1	0	0,00	0,00
	2	111,5	0,48	28,93
	3	120,5	4,58	274,65
	4	129,5	0,48	28,93
	5	241	0,00	0,00
30	1	0	0,00	0,00
	2	105,5	0,31	18,89
	3	120,5	4,09	245,43
	4	135,5	0,31	18,89
	5	241	0,00	0,00
60	1	0	0,00	0,00
	2	90,5	0,12	7,26
	3	120,5	2,82	169,43
	4	150,5	0,12	7,26
	5	241	0,00	0,00

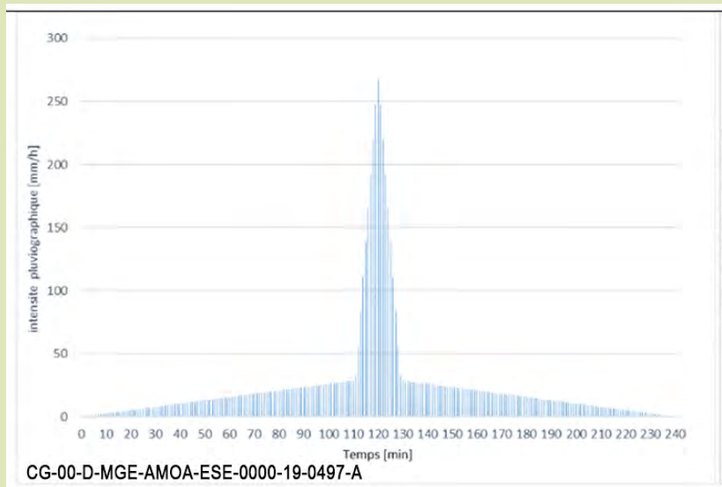
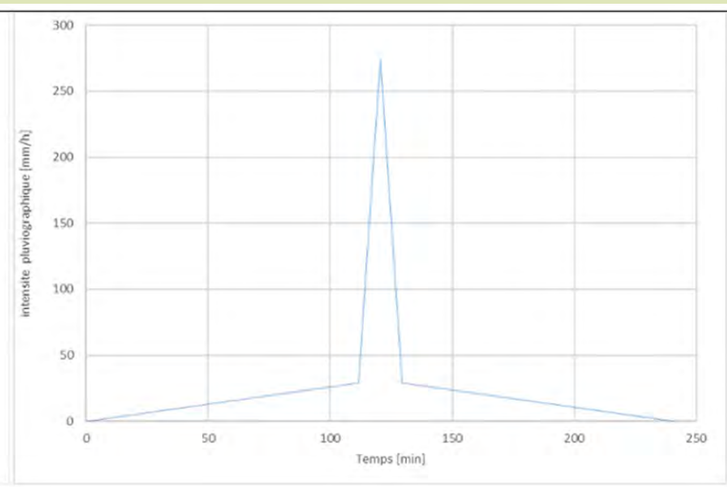
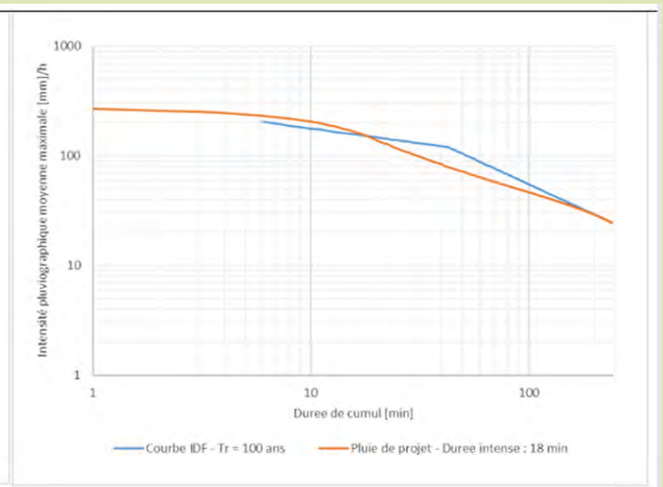
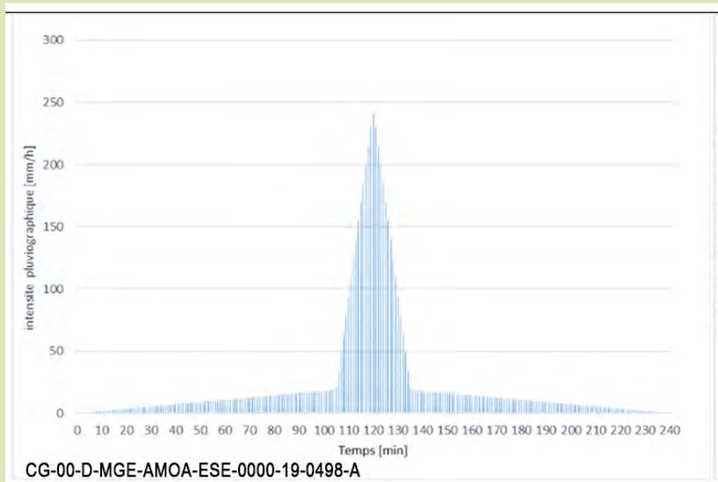
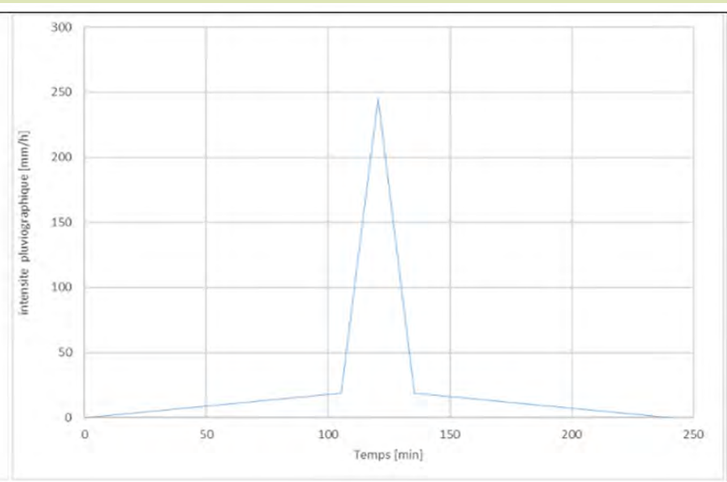
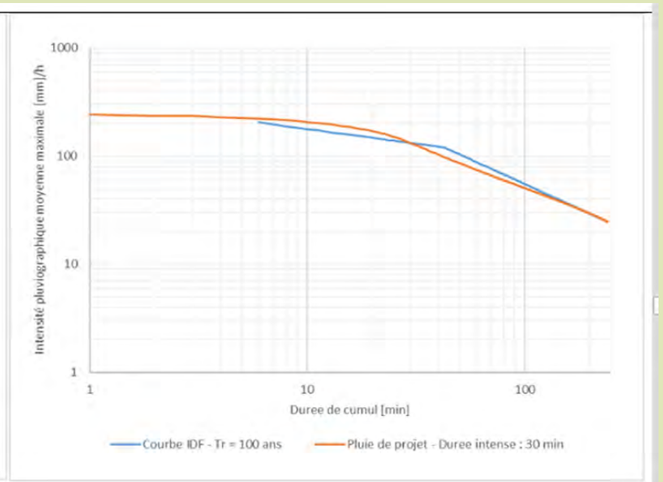
Une analyse de la représentativité de la station de référence choisie a été menée. Après analyse, il s'avère que la station de mesure *in situ* du site Cigéo valide les données des différentes stations étudiées alentour (*i.e.* Dans les domaines où il est possible d'effectuer des comparaisons ; durées de cumul comprise entre une heure et deux jours, périodes de retour comprises entre deux ans et cinquante ans).

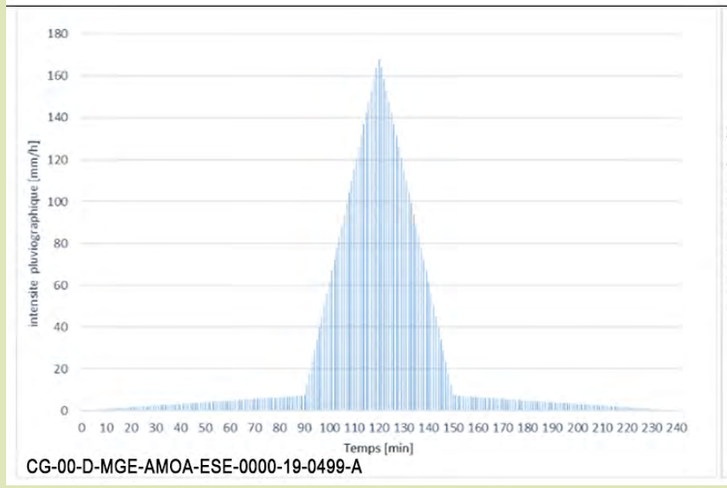
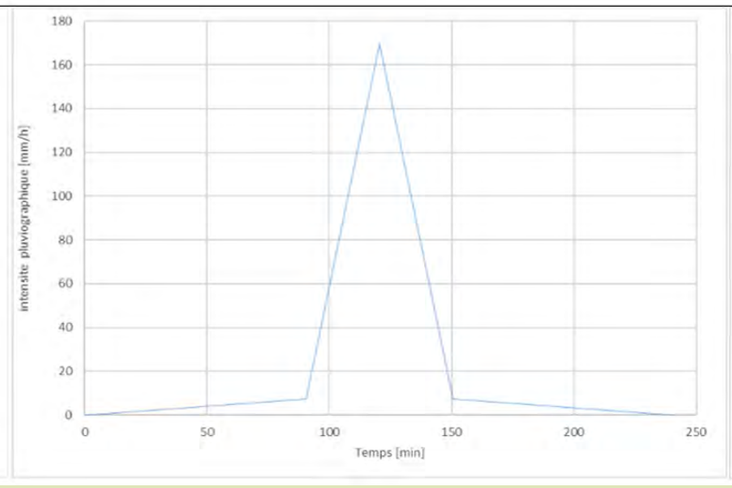
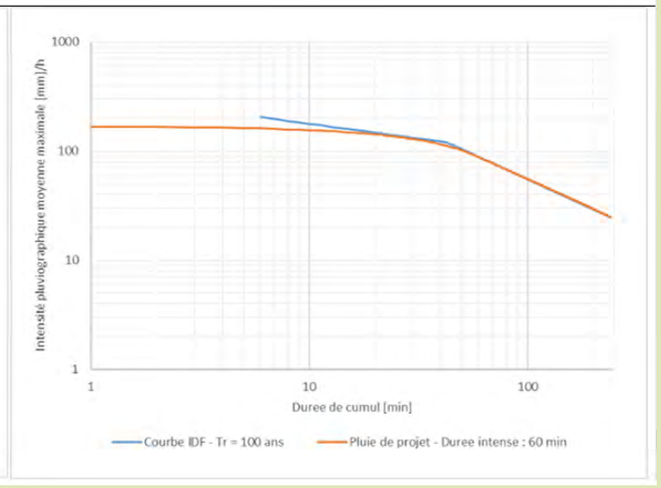
Tableau 5-28 Pluies de projet – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée intense	Hyétogramme discrétisé	Hyétogramme théorique	Projection de l'hyétogramme discrétisée sur un axe IDF
6			
12			

CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0494-A

CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0496-A

Durée intense	Hyétogramme discrétisé	Hyétogramme théorique	Projection de l'hyétogramme discrétisée sur un axe IDF
18			
30			

Durée intense	Hyétogramme discrétisé	Hyétogramme théorique	Projection de l'hyétogramme discrétisée sur un axe IDF
60			

5.2.2.4 Définition de l'impact qualitatif et quantitatif sur les masses d'eau superficielles

5.2.2.4.1 Préambule

La présente étude d'impact est établie à partir d'un niveau de définition différents entre les opérations constituant le projet global Cigéo. Des actualisations de l'étude d'impact sont prévues, conformément à ce qui est explicité au chapitre 3.5.1 du volume I de l'étude d'impact, d'actualisations au fur et à mesure de l'évolution des connaissances de l'ensemble des opérations du projet global Cigéo, de l'intégration des conclusions des participations du public en cours ou à venir et de l'approfondissement de la conception du projet global Cigéo.

Les documents actualisés seront joints aux différentes demandes d'autorisations nécessaires pour le projet global Cigéo.

Pour cette version d'étude d'impact, seul le centre de stockage Cigéo (maîtrise d'ouvrage Andra) fait l'objet d'une étude de dimensionnement de ses dispositifs de collecte, stockage, traitement et rejet dans le milieu naturel.

5.2.2.4.2 Objectifs pour le centre de stockage Cigéo

a) Aspect qualitatif des eaux rejetées

Pour que le centre de stockage Cigéo soit compatible avec les objectifs du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Seine Normandie, l'étude des impacts vise à orienter la conception des différentes opérations du projet global Cigéo pour que ses rejets respectent le bon état des cours d'eau à l'aval des points d'exutoire.

Pour rappel, l'ensemble des valeurs seuils permettant de définir l'état écologique et chimique des eaux de surfaces est défini par l'arrêté du 27 juillet 2015 (79).

L'objectif de bon état chimique et écologique des masses d'eau conditionne la conception des dispositifs de traitement des eaux pluviales et des effluents du centre de stockage Cigéo.

La conception des filières de traitement des effluents conventionnels liquides (eaux usées et industrielles, eaux pluviales, eaux pluviales de verses, eaux de fond) prévoit la conformité aux textes législatifs ou normatifs en vigueur. Ceci implique que chaque effluent puisse, après traitement, garantir de respecter les valeurs de bon état écologique et chimique au sens de la DCE (directive cadre sur l'eau) (58). Afin de justifier la performance des traitements, l'Andra s'est adjoint les services d'un industriel concepteur/réalisateur/exploitant d'installations de traitement d'effluents liquides. L'état des connaissances sur le sujet, le retour d'expérience des exploitants, ainsi que les essais pilotes réalisés sur les effluents spécifiques, démontrent que la conformité des rejets du centre de stockage Cigéo est compatible en toutes circonstances (y compris en période d'assec des milieux récepteurs) avec les objectifs de la Directive cadre sur l'eau.

Pour les autres maîtres d'ouvrage du projet global Cigéo, le respect du bon état chimique et écologique des masses d'eau détermine aussi la conception de chaque opération.

b) Aspects quantitatifs des eaux rejetées

Les solutions d'évitement ou de réduction d'impact du projet global Cigéo sur les masses d'eau superficielles sont étudiées en fonction de l'état initial et de telle sorte que les différentes opérations ne dégradent pas la situation hydrologique actuelle.

Pour le centre de stockage Cigéo, les ouvrages de gestion de l'eau sont dimensionnés pour que la contribution moyenne en débit des surfaces de projet ne dépasse pas la contribution moyenne actuelle en débit des surfaces du bassin versant global (absence d'impact sur le débit spécifique des bassins versants concernés). Ce faisant, les solutions respectent la sûreté des installations et participent à l'écrêtage des crues à l'aval des installations. Cette démarche itérative entre les contraintes environnementales et technologiques a permis des dimensionnements optimaux d'ouvrages pour toutes les phases de développement du centre de stockage Cigéo.

» DÉBIT SPÉCIFIQUE

Le débit spécifique est une mesure de l'écoulement moyen des précipitations au sein du bassin versant d'un cours d'eau. Il se définit comme le volume d'eau qui s'écoule en moyenne chaque seconde par kilomètre carré du bassin. Il s'agit donc du rapport du débit Q du cours d'eau (exprimé en l/s ou m^3/s) sur la surface A de son bassin versant (exprimée en km^2). Il est couramment exprimé en l/s/ha dans les prescriptions de rejet des documents d'urbanisme.

La situation hydraulique actuelle est caractérisée au moyen d'une étude hydrologique (cf. Figure 5-42) qui a permis de :

- délimiter et caractériser les bassins versants concernés par le centre de stockage Cigéo ;
- déterminer les débits spécifiques de pointe de crue biennale, décennale et centennale à l'exutoire des bassins versants des cours d'eau concernés par le centre de stockage Cigéo.

Ces données ont ensuite permis de déterminer les débits de pointe de rejet décennal et centennal de chacune des installations du centre de stockage Cigéo. Les valeurs obtenues sont dimensionnantes pour les ouvrages de stockage et pour les dispositifs régulateurs de rejet.

Pour déterminer, à période de retour donnée, un débit de rejet maximal à ne pas dépasser en sortie de filière de gestion des eaux pluviales au point de rejet dans le cours d'eau (point intégrateur du ruissellement à l'échelle du bassin versant topographique concerner), deux étapes sont essentielles :

- estimation du débit de ruissellement sur le bassin versant topographique actuel concerné ;
- vérification que le débit spécifique du bassin versant global topographique intégrant les surfaces projet ne dépasse pas le débit spécifique du bassin versant global topographique en état initial.

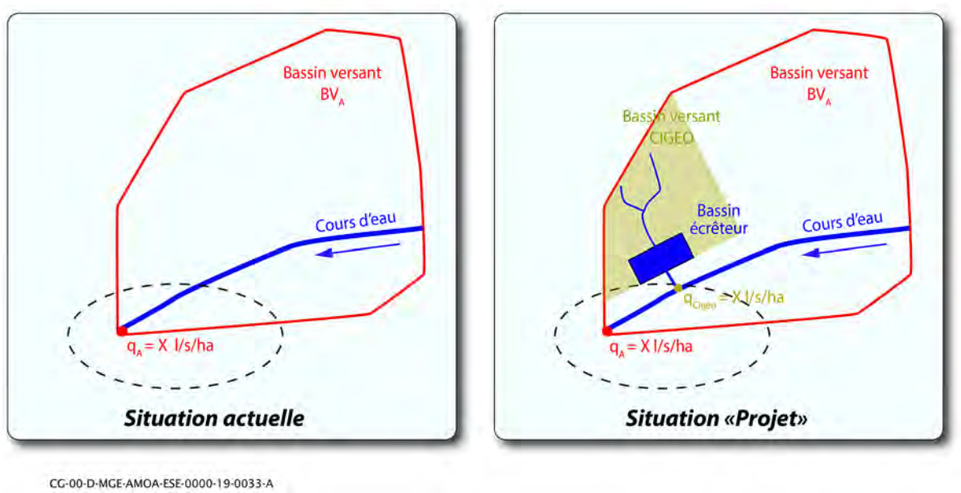


Figure 5-42 Illustration de la situation hydraulique avant et après projet

5.2.2.4.3 Dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales pour le centre de stockage Cigéo

Les données utilisées pour la délimitation et la caractérisation des bassins versants concernés par le centre de stockage Cigéo sont présentées dans le tableau 5-29.

Tableau 5-29 Données d'entrée pour la réalisation de l'étude hydrologique pour le centre de stockage Cigéo

Intitulé de la source	Source
Cartographie IGN SCAN 25	IGN
Carte géologique imprimée au 1/50 000e	BRGM
Cartographie Corine Land Cover	Agence européenne de l'environnement (2012)
Pluie journalière décennale et centennale PJ 10 et PJ 100.	Météo-France (2017)
Données hydrométriques des stations du bassin versant locales	Banque hydro (2017)
Ortho photographie de la zone	IGN
Cartographie BD Carthage des cours d'eau	IGN

a) Les données d'entrée climatologiques

La grille d'utilisation des données climatiques en fonction des besoins de l'étude d'impact relative aux masses d'eau de surface est présentée dans le tableau 5-30.

Tableau 5-30 Paramètres nécessaire au dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales pour le centre de stockage Cigéo

Phase de dimensionnement	Méthode de dimensionnement	Conditions appliquées
Méthodologie de pré dimensionnement « Fonctionnement »	Méthode de Caquot & Formule de Manning et Strickler	Pluie de période de retour **Tr = 100 ans** avec coefficients de Montana conforme au guide n° 13 de l'ASN (100) Collecteurs devant respecter les contraintes suivantes : • taux de remplissage T_{rem}<0,8 ; • vitesse de l'écoulement <4 m/s. Occupation des sols en phase définitive
Méthodologie de pré dimensionnement « Aménagements préalables »	Méthode de Caquot & Formule de Manning et Strickler	Pluie de période de retour **Tr = 10 ans** avec coefficients de Montana conforme au guide ASN n° 13 Collecteurs devant respecter les contraintes suivantes : • taux de remplissage T_{rem}<0,8 ; • vitesse de l'écoulement <4 m/s. Occupation des sols en phase APr
Méthodologie de pré dimensionnement « globale »	Cas majorant APr/Exploitation	/

Par définition, les coefficients de Montana permettent de connaitre, pour une durée de pluie donnée, la hauteur d'eau maximale ou l'intensité maximale attendue pour chacune des durées de retour suivantes : 10 ans et 100 ans. Les coefficients de Montana agrègent l'information statistique des chroniques pluviométriques validées en un point donné (station). En l'occurrence, pour une durée de pluie donnée, la méthode de dimensionnement des ouvrages adopte les coefficients de Montana correspondant à la fréquence de retour des pluies retenue (cf. Tableau 5-31).

Tableau 5-31 Méthodologies et critères de dimensionnement utilisées pour le centre de stockage Cigéo

Item	Méthodologie employée	Critère de dimensionnement
Pluie de projet	Formalisme de Montana selon le guide n° 13 de l'ASN, 2013 (100)	Ajustement de Montana : Majorant à partir des données de cumuls de pluie Ajustement fréquentiel : Type ASN13 Borne supérieur de l'intervalle de confiance à 95 % des données médianes)
Pré dimensionnement des réseaux	Méthode de Caquot Formule de Manning et Strickler	Dimensionnement le plus majorant entre la phase des aménagements préalable et la phase fonctionnement.
Approche de dimensionnement d'un bassin multifonction	Approche GTAR Sétra 2006 (102)	Pollution accidentelle : • volume de pollution accidentelle ; • respect d'un temps d'intervention. Pollution chronique : • critère de surface de décantation. Critère d'écrêtement : • méthode des pluies.
Détermination du débit de fuite à un exutoire	Approche GTAR Sétra 2006 (102)	/
Dimensionnement d'un déversoir	Formule du déversoir en écoulement dénoyé	/

b) Coefficients de Montana

Les coefficients de Montana permettent d'agréger à l'aide de deux coefficients et d'une loi mathématique exponentielle (*i.e.* La loi de Montana) toute l'information pluviométrique d'une station de mesure ou d'une région. Concernant le centre de stockage Cigéo, c'est la station de Cirfontaines-en-Ornois, qui a été retenue pour être la station pluviométrique de référence.

Conformément au guide n° 13 de l'ASN (100), les coefficients de Montana sont le résultat d'un ajustement majorant effectuée à partir des données de cumul de hauteur de pluie issues de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de l'ajustement fréquentiel réalisé (données médianes). Les coefficients de Montana utilisé dans le cadre du dimensionnement du centre de stockage Cigéo sont rappelés dans le tableau 5-32.

Tableau 5-32 Coefficients de Montana pour les Tr = 10 ans et Tr = 100 ans

Station	T_{retour} [ans]	Durée Pluie inf [min]	Durée Pluie sup [min]	a [mm/min]	b [-]
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVIr_MED_ING_Moy	10	6	26	4,642	0,469
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVIr_MED_ING_Moy	10	26	2880	11,023	0,735
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVIr_MED_ING_Moy	100	6	36	4,996	0,334

c) Détermination des débits de pointe de crue décennal et centennal

DÉBIT DE POINTE ET CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL

Le débit de pointe est le débit maximal d'un bassin versant pour une précipitation donnée (exprimé en L/s ou m^3/s). Il peut être évalué en utilisant soit :

- la méthode rationnelle adaptée aux bassins versants de moins de 1 km² ;
- la méthode Crupédix pour les bassins versants de plus de 10 km² ;
- la méthode intermédiaire dite de transition pour les autres.

La détermination des débits de pointe de crue des cours d'eau concernés par le centre de stockage Cigéo, est effectuée selon le formalisme issu du guide technique de l'assainissement routier (GTAR, Sétra, 2006 (102)).

Les formalismes retenus dépendent de la surface des bassins versants. Dans le cadre de la conception du centre de stockage Cigéo, les formalismes retenus pour la détermination des débits de point de crue décennale et centennale sont :

- « Transition » pour La Bureau (formalisme utilisant à la fois les méthodes rationnelles et Crupédix) ;
- « Crupédix » pour l'Ormançon et l'Orge.

De ce fait, les formalismes qui sont utilisés dans la présente étude d'impact sont présentés dans le tableau 5-33.

Tableau 5-33 Formalismes hydrologiques GTAR 2006 utilisés pour le centre de stockage Cigéo

	La Bureau Point de rejet nord de la zone descenderie du centre de stockage Cigéo	L'Ormançon Point de rejet est de la zone puits du centre de stockage Cigéo	L'Orge Point de rejet sud de la zone descenderie du centre de stockage Cigéo	La Saulx Station de Montiers-sur-Saulx
Surface des bassins versants étudiés (en km²)	6,903	16,14	13,36	75,70
Formalisme utilisé	Transition	Crupédix	Crupédix	-

Les fiches hydrologiques des bassins versant rappellent l'ensemble des données d'entrées nécessaires aux calculs des débits de pointes de ruissellement des bassins versant concernés ainsi que les résultats associés. Les fiches hydrologiques sont composées, pour chacun des bassins versant, de quatre items :

- les paramètres hydrologiques ;
- l'occupation du sol ;
- les caractéristiques de l'écoulement principal (pente, longueur, vitesse de l'écoulement…) ;
- les calculs des débits de pointe selon les différentes formules et pour une fréquence décennale et centennale.

Fiche hydrologique de la Bureau

Tableau 5-34 Fiche hydrologique de la Bureau - Paramètres hydrologiques

	Méthode rationnelle		Méthode Crupédix		
	Coefficients de Montana		Pluies journalières	Coefficient régional	
	a	b			
T=10 ans – Tc <26 mn	278,505	0,469	P10 = 56 mm	R = 1,45	
T=10 ans – Tc >26 mn	661,380	0,735		Rapport Q100/Q10	
T=100 ans – Tc <26 mn	299,784	0,334		S <20 km²	1,75
T=10 ans – Tc >26 mn	1681,020	0,816	P100 = 74 mm	S >20 km²	/

Tableau 5-35 Fiche hydrologique de la Bureau – État du bassin versant

	Surface		Coefficient de ruissellement C pour T = 10 ans
Route	0,000 km²	Soit 0 %	1
Zones urbanisées	0,000 km²	Soit 0 %	0,4
Culture	5,896 km²	Soit 85 %	0,70
Prairie	0,318 km²	Soit 5 %	0,55
Zones boisées	0,689 km²	Soit 10 %	0,50
Caractéristiques du bassin versant total	6,903 km²		0,67

Tableau 5-36 Fiche hydrologique de la Bureau - Caractéristiques de l'écoulement principal

Altitude du point haut	402,50 mNGF
Altitude du point bas	325,00 mNGF
Pente moyenne	0,019 m/m
Longueur totale	4,162 km
Vitesse moyenne d'écoulement	0,18 m/s
Temps de concentration Tc pour T = 10 ans	376 mn

Tableau 5-37 *Fiche hydrologique de la Bureau - Calcul des débits de pointe*

	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
Formule rationnelle	Tc = 376 mn – C = 0.67 - Ic = 8 mm/h	/	/	Tc = 349 mn – C = 0,70 - Ic = 14 mm/h
	10,877 m³/s			19,034 m³/s
Formule Crupédix	3,333 m³/s	/	/	5,833 m³/s
Formule de transition	5,929 m³/s	/	/	10,376 m³/s

Tableau 5-38 *Fiche hydrologique de la Bureau - Débits de crue retenus et débits spécifiques*

	Débits de crue retenus	Débits spécifiques
Q10	5,929 m³/s	8,589 l/s/ha
Q100	10,38 m³/s	15,037 l/s/ha

Fiche hydrologique de l'Ormançon

Tableau 5-39 *Fiche hydrologique de l'Ormançon - Paramètres hydrologiques*

	Méthode rationnelle		Méthode Crupédix		
	Coefficients de Montana		Pluies journalières	Coefficient régional	
	a	b			
T=10 ans – Tc <26 mn	278,505	0,469	P10 = 56 mm	R = 1,45	
T=10 ans – Tc >26 mn	661,380	0,735		Rapport Q100/Q10	
T=100 ans – Tc <26 mn	299,784	0,334		S <20 km²	1,80
T=10 ans – Tc >26 mn	1681,020	0,816	P100 = 74 mm	S >20 km²	/

Tableau 5-40 *Fiche hydrologique de l'Ormançon – État du bassin versant*

	Surface		Coefficient de ruissellement C pour T = 10 ans
Route	0,000 km²	Soit 0 %	1
Zones urbanisées	0,252 km²	Soit 1 %	0,4
Culture	9,569 km²	Soit 49 %	0,70
Prairie	2,745 km²	Soit 14 %	0,55
Zones boisées	7,075 km²	Soit 36 %	0,50
Caractéristiques du bassin versant total	19,641 km²		0,60

Tableau 5-41 *Fiche hydrologique de l'Ormançon – Caractéristiques de l'écoulement principal*

Altitude du point haut	403,00 mNGF
Altitude du point bas	320,00 mNGF
Pente moyenne	0,011 m/m
Longueur totale	7,367 km
Vitesse moyenne d'écoulement	0,29 m/s
Temps de concentration Tc pour T = 10 ans	420 mn

Tableau 5-42 *Fiche hydrologique de l'Ormançon – Calcul des débits de pointe*

	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
Formule rationnelle	Tc = 420 mn – C = 0,60 - Ic = 8 mm/h	/	/	Tc = 387 mn – C = 0,65 - Ic = 13 mm/h
	25,549 m³/s			46,020 m³/s
Formule Crupédix	7,693 m³/s	/	/	13,847 m³/s
Formule de transition	/	/	/	/

Tableau 5-43 Fiche hydrologique de l'Ormançon – Débits de crue retenus et débits spécifiques

	Débits de crue retenus	Débits spécifiques
Q10	7,693 m³/s	3,917 l/s/ha
Q100	13,85 m³/s	7,052 l/s/ha

Fiche hydrologique de l'Orge

Tableau 5-44 Fiche hydrologique de l'Orge - Paramètres hydrologiques

	Méthode rationnelle		Méthode Crupédix		
	Coefficients de Montana		Pluies journalières	Coefficient régional	
	a	b			
T=10 ans – Tc <26 mn	278,505	0,469	P10 = 56 mm	R = 1,45	
T=10 ans – Tc >26 mn	661,380	0,735		Rapport Q100/Q10	
T=100 ans – Tc <26 mn	299,784	0,334		S <20 km²	1,62
T=10 ans – Tc >26 mn	1681,020	0,816	P100 = 74 mm	S >20 km²	/

Tableau 5-45 Fiche hydrologique de l'Orge – État du bassin versant

	Surface		Coefficient de ruissellement C pour T = 10 ans
Route	0,000 km²	Soit 0 %	1
Zones urbanisées	0,487 km²	Soit 4 %	0,4
Culture	9,883 km²	Soit 74 %	0,70
Prairie	2,036 km²	Soit 15 %	0,55
Zones boisées	0,954 km²	Soit 7 %	0,50

Tableau 5-46 Fiche hydrologique de l'Orge – Caractéristiques de l'écoulement principal

Altitude du point haut	377,00 mNGF
Altitude du point bas	329,00 mNGF
Pente moyenne	0,005 m/m
Longueur totale	9,026 km
Vitesse moyenne d'écoulement	0,13 m/s
Temps de concentration Tc pour T = 10 ans	1 138 mn

Tableau 5-47 Fiche hydrologique de l'Orge – Calcul des débits de pointe

	T = 10 ans	T = 20 ans	T = 50 ans	T = 100 ans
Formule rationnelle	Tc = 1138 mn – C = 0,65 - Ic = 4 mm/h	/	/	Tc = 1054 mn – C = 0,69 - Ic = 6 mm/h
	9,049 m³/s			14,624 m³/s
Formule Crupédix	5,652 m³/s	/	/	9,156 m³/s
Formule de transition	/	/	/	/

Tableau 5-48 Fiche hydrologique de l'Orge – Débits de crue retenus et débits spécifiques

	Débits de crue retenus	Débits spécifiques
Q10	5,652 m³/s	4,231 l/s/ha
Q100	9,16 m³/s	6,856 l/s/ha

Le présent chapitre décrit synthétiquement l'ensemble des formalismes employés dans la présente étude d'impact :

- ajustement fréquentiel des débits de pointe à une station hydrométrique

  À partir d'une série de données de débit de pointe établie sur un nombre suffisant d'années, il devient possible d'associer « théoriquement » une période de retour à un débit de pointe (loi débit de pointe en fonction de la période de retour : $Q_{pointe} = f(Tr)$).

  Le cadre d'application de l'analyse fréquentielle des débits de pointe est synthétisé dans le tableau 5-49.

Tableau 5-49 Caractéristiques des ajustements réalisés pour la détermination d'un débit de pointe correspondant à une période de retour donnée

Données brutes	Chronique de débits instantanés
Type de série constituée	Série de *maxima* annuels de débits instantanés
Fréquence empirique	Fréquence de Hazen
Type d'ajustement	Loi de Gumbel
Méthode d'ajustement	Méthode des moments

Dans le cadre du centre de stockage Cigéo, l'ajustement fréquentiel sera utilisé pour déterminer les débits suivants :

- ✓ débit instantanée de période de retour – Station de Montiers-Sur-Saulx – Tr : 2 ans ;
- ✓ débit instantanée de période de retour – Station de Montiers-Sur-Saulx – Tr : 5 ans ;
- ✓ débit instantanée de période de retour – Station de Montiers-Sur-Saulx –Tr : 10 ans ;
- ajustement fréquentiel de la pluie journalière à une station pluviométrique

Pour une durée de cumul donnée, à partir d'une série de données de hauteur de pluie précipitée, il devient possible d'associer « théoriquement » une période de retour à une hauteur précipitée (Loi cumul de hauteur de pluie en fonction de la période de retour : Cumul de hauteur de pluie = f(Tr)).

Le cadre d'application de l'analyse fréquentiel des débits de pointe est synthétisé dans le tableau 5-50.

Tableau 5-50 Caractéristiques des ajustements réalisés pour la détermination d'un débit de pointe correspondant à une période de retour donnée

Données brutes	Chronique de pluies journalière à pas de temps fixe non glissant, (relevé pluviométrique chaque jour, à heure fixe) – Pluie non centrée sur 24 heures
Type de série constitué	Série de *maxima* annuels sur une journée
Fréquence empirique	Fréquence de Hazen
Type d'ajustement	Loi de Gumbel
Méthode d'ajustement	Méthode des L-moments

Dans le cadre du centre de stockage Cigéo, l'ajustement fréquentiel est utilisé pour déterminer les cumuls de hauteur suivants :

- ✓ pluie journalière décennale : PJ10 [mm]. Il s'agit donc de la hauteur de pluie qui a, chaque année, une probabilité Pr = 1/10 de se produire. Sur une longue période d'observation, ce type d'évènement se produit donc « en moyenne » une journée tous les dix ans ;
- ✓ pluie journalière centennale : PJ100 [mm]. Il s'agit donc de la hauteur de pluie qui a, chaque année, une probabilité Pr = 1/100 de se produire. Sur une longue période d'observation, ce type d'évènement se produit donc « en moyenne » une journée tous les cent ans.

Formule rationnelle

Cette formulation de détermination des débits est relativement intuitive. Elle exprime le débit comme étant le produit d'une intensité pluviométrique avec une surface contributive. Les hypothèses de départ sont relativement fortes et limitent cette formulation à de petits bassins versants (moins de 1 km²). Ces hypothèses sont les suivantes :

- uniformité de l'averse dans le temps et sur l'ensemble du bassin versant ;
- durée de l'averse égale au temps de concentration du bassin versant ;
- période de retour du débit de pointe considérée comme égale à la période de retour de la précipitation.

La formulation est décrite par l'équation 1 du tableau 5-51.

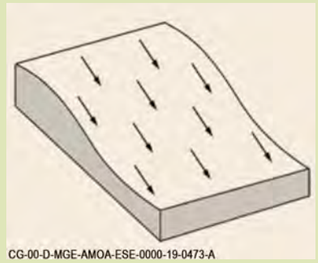
Tableau 5-51 Équation 1 - Formalisme de la méthode rationnelle

$Q_{(T)} = \frac{C_{(T)}.i_{(T)}.S_{BV}}{3,6}$	• $Q_{(T)}$ [m³/s] : Débit de projet de période de retour • $C_{(T)}$ [-] : Coefficient de ruissellement du bassin versant pour la période de retour T • $i_{(T)}$ [mm/h] : intensité moyenne de la pluie pour la période de retour T pendant le temps de concentration t_c, • S_{BV} [km²] : Surface du bassin versant, $i_{(T)} = a_{(T)}.t_c^{-b_{(t)}}$ • $a_{(T)}$ [mm/h]. $b_{(T)}$ [-]: paramètres pluviométriques de Montana à la période de retour T • tc [mn] : temps de concentration du bassin versant pour la période de retour

Les méthodes d'obtention de ses différents termes (coefficient de ruissellement, temps de concentration notamment) sont explicitées par l'équation 2 du

tableau 5-52.

Tableau 5-52 Équation 2 - Formalisme de la méthode rationnelle

	Période de retour T = 10 ans					Période de retour T >10 ans
Fonction de production **Coefficient de ruissellement [-]**	**Couverture végétale**	**Pente**	**Terrain sable grossier**	**Terrain limoneux**	**Terrain argileux**	$C_{100} = 0,8 \times (1 - \frac{P_0}{P_{(t)}})$ si $C_{10} < 0,8$ $C_{100} = C_{10}$ si $C_{10} > 0,8$ Avec • P_0 : Rétention initiale [mm] (*i.e.* Hauteur de pluie minimale pour générer un ruissellement)
	Bois	<5 %	0,10	0,30	0,40	
		5 <p <10 %	0,25	0,35	0,50	
		10 <p <30 %	0,30	0,50	0,60	
	Pâturage	<5 %	0,10	0,30	0,40	
		5 <p <10 %	0,15	0,36	0,55	
		10 < p < 30 %	0,22	0,42	0,60	
	Culture	<5 %	0,30	0,50	0,60	$P_0 = \left(1 - \frac{C_{10}}{0.8}\right) \times P_{10}$ • P_{10} : Hauteur de pluie journalière décennale [mm] • $P_{(T)}$ [mm] : Hauteur de pluie journalière à la période de retour T
		5 <p <10 %	0,40	0,60	0,70	
		10 <p <30 %	0,53	0,72	0,82	
Vitesse d'écoulement [m/s]	Écoulement en nappe : $V_{10} = 1,4 \times p^{1/2}$ Écoulement concentré : $V_{10} = k \times p^{1/2} \times R_h^{2/3}$ Avec : • k [m$^{1/3}$/s] : Rugosité Strikler de la portion d'écoulement considérée ; • p [m/m]: Pente de la portion d'écoulement considéré ; • Rh [m] : Rayon hydraulique de la section mouillée d'écoulement.  CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0473-A Écoulement en nappe Écoulement peu ou pas marqué Ruissellement étalé sur le bassin versant  CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0474-A Écoulement concentré Thalweg et ravins alimentés par les versants Lits mineurs des cours d'eau	-
Temps de concentration	$t_{c.10} = \sum \frac{L_j}{V_j}$ Avec • $t_{c.10}$ [mn]: temps de concentration du bassin versant pour la période de retour décennale • Lj [m] : Longueur d'écoulement sur un tronçon où la vitesse est Vj [m/s]	$t_{c.T} = t_{c.10}.\left[\frac{P_{(T)} - P_0}{P_{10} - P_0}\right]^{-0.23}$ Avec • $t_{c.T}$ [mn]: temps de concentration du bassin versant pour la période de retour T • P_0 : Rétention initiale [mm] (*i.e.* Hauteur de pluie minimale pour générer un ruissellement)

	Période de retour T = 10 ans	Période de retour T >10 ans
		• $P_{(T)}$ [mm] : Hauteur de pluie journalière à la période de retour T • P10 : Hauteur de pluie journalière décennale [mm]

La formule rationnelle est utilisée avec les coefficients de Montana émanant du chapitre 5.2.2.4.3.b. Pour mémoire, il s'agit d'ajustement moyens effectués sur des données médianes de cumul de hauteur de pluie mesurés à la station pluviométrique de Cirfontaines-en-Ornois.

Formule Crupédix

- détermination du débit décennal de pointe

  La méthode Crupédix permet l'estimation du débit de pointe décennal sur la base d'une analyse statistique « pluie – débit » de 630 bassins versants de moins de 2 000 km². Son formalisme est décrit par l'équation 1 du tableau 5-53. Il associe pour les bassins versants de taille moyenne un lien très fort entre le cumul décennal de pluie journalier local et le débit de pointe décennal du cours d'eau principal drainant le bassin versant.

Tableau 5-53 Équation 1- Formalisme de la méthode de Crupédix

$Q_{10.pointe} = S^{0,8}\left(\frac{P_{J.10}}{80}\right)^2 . R$	• Q_{10} (m³/s): Débit de pointe décennale ; • S (m²) : Superficie du bassin versant ; • $Pj_{.10}$ (mm) : Pluie journalière maximale annuelle décennale ; • R : coefficient régional de Crupédix.

Classiquement, le coefficient régional « R » est déterminé localement à partir des données {Q10, pointe, Surface, et PJ10} disponibles sur des bassins versants locaux présentant des caractéristiques homogènes en termes de topographie, de surface, de géologie, de pédologie et d'occupation des sols, En cas de d'impossibilité de détermination régionale de ce coefficient, du fait notamment de l'absence de cours d'eau jaugé représentatif à proximité, des valeurs par défaut de ce coefficient peuvent être retenues (cf. Tableau 5-54).

Tableau 5-54 Équation 2 - Formalisme de la méthode de Crupédix

Type de terrain	Valeur du coefficient régional R
Terrain perméable	0,2
Terrain intermédiaire	1
Terrain imperméable	1,5 à 1,8

Il convient de noter un point important concernant le formalisme de Crupédix. La formule de Crupédix (Équation 2 du tableau 5-55) sous-entend une croissance du débit à l'exutoire du bassin versant.

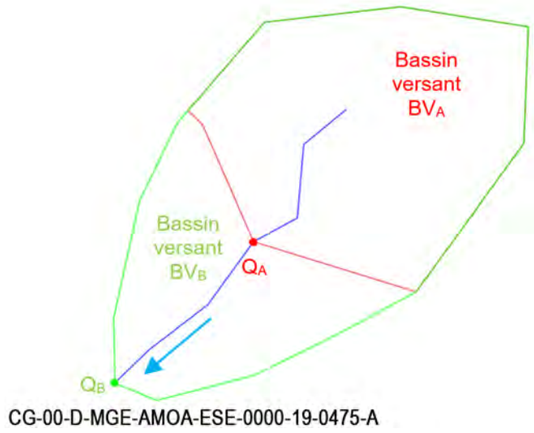
Tableau 5-55 Équation 3- Formalisme de la méthode de Crupédix

$\boldsymbol{Q_{10.pointe} = S^{0.8}\left(\frac{P_{J.10}}{80}\right)^2 \times R = \alpha\, S^{0.8}}$ **Avec** $\boldsymbol{\alpha = \left(\frac{P_{J.10}}{80}\right)^2 . R}$	• Q_{10} (m³/s): Débit de pointe décennale ; • S (m²) : Superficie du bassin versant ; • $Pj_{.10}$ (mm) : Pluie journalière maximale annuelle décennale ; • R : Coefficient régional de Crupédix.

De ce fait, le choix des concepteurs de la méthode Crupédix était d'inclure la loi de croissance des débits à l'exutoire en fonction de la surface (*i.e.* Q = f(S)), dite de Myer (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le postulat de départ de la méthode de Myer considère que l'évolution du débit de crue décennale « Q_{10} » d'un même cours d'eau depuis l'amont jusqu'à l'exutoire, obéit à une loi de type puissance « $Q_{10} = \alpha\, S_{BV}^{\beta}$ » avec S la surface du bassin versant. Cela signifie que la croissance du débit est plus faible que la croissance des surfaces. Les raisons en sont les suivantes :

- l'étendue du bassin versant. Une cellule orageuse a peu de chance de couvrir l'entièreté de la surface d'un bassin versant quand celui-ci devient de plus en plus grand ;
- la longueur du chemin hydraulique. La crue d'un long cours d'eau drainant un grand bassin versant aura davantage de chance d'être amortie (*i.e.* Phénomène d'écrêtement d'un écoulement) après avoir parcourue une distance plus longue.

Le coefficient de Myer « β » est déterminé à partir de l'analyse des débits décennaux pour un même cours d'eau le long de son cours. Par défaut, la bibliographie hydrologique propose une valeur β = 0,8 pour les cours d'eau français et c'est cette même valeur qui est reprise par la formule de Crupédix.



$Q_A = \alpha\, S_A^{\beta}$

$Q_B = \alpha\, S_B^{\beta}$

$Q_B = Q_A\left(\frac{S_B}{S_A}\right)^{\beta}$

Q_i [m³/s]: Débit du bassin versant à l'exutoire considéré

S_i [m²]: Surface du bassin versant à l'exutoire considéré

α [-] : Coefficient de proportionnalité

β [-]: Coefficient de Myer

Figure 5-43 Equation 3 : Formalisme de la méthode d'extrapolation de Myer

- détermination du débit centennal de pointe

Le débit centennal est obtenu en suivant la formulation suivante :

$Q_{100} = b.\, Q_{10}$

La détermination du paramètre « b » obéit à la démarche présentée au tableau 5-56.

Tableau 5-56 Détermination du coefficient régional b

Type	Surface du bassin versant (km²)	Valeur du coefficient régional b
1	10 à 20	Application de la formule rationnelle $b = \frac{Q_{100.rationnelle}}{Q_{10.rationnelle}}$

2	>20	Détermination partir des cours d'eau jaugés des environs $b = \frac{Q_{100.Bassin\ versant\ jaugé}}{Q_{10.Bassin\ versant\ jaugé}}$
3	Par défaut	b = 2

Tableau 5-57 Formalismes hydrologiques GTAR 2006 utilisés

	La Bureau Point de rejet Cigéo	L'Ormançon Point de rejet Cigéo	L'Orge Point de rejet Cigéo	La Saulx Station de Montiers-sur-Saulx
Surface des bassins versants étudiés	6,903	16,14	13,36	75,70
Formalisme utilisé	1	1	1	Non calculé (inutile dans la présente étude)

Formule mixte

La formulation mixte s'applique pour des bassins versant de taille intermédiaire. Elle exprime simplement un raccordement progressif entre débits décennaux issus de la formule rationnelle et de la formule de Crupédix et implique ainsi le calcul de ces derniers (Équation du tableau 5-58).

Tableau 5-58 Équation 1 : Formalisme de transition– formule mixte

$\boldsymbol{Q_{(T)} = \alpha . Q_{(T).R} + \beta \times Q_{(T).C}}$	• $Q_{(T).R}$: débit issue du formalisme basé sur méthode rationnelle ; • $Q_{(T).C}$: débit issue du formalisme basé sur méthode Crupédix ; • $\alpha = \frac{10-S}{9}$; • $\beta = 1 - \alpha$; • *Rq :* « α » varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie croît de 1 à 10 km². à l'inverse de « β ».

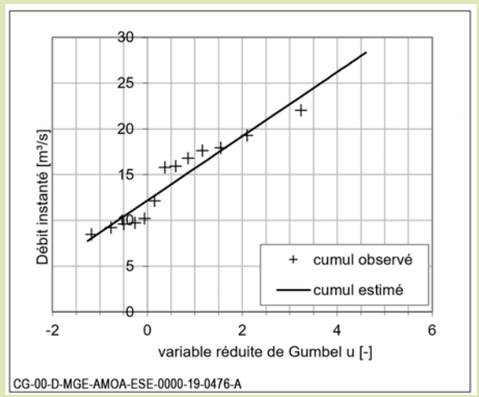
Résultats

Les débits des périodes de retour Tr = 2, 5 et 10 ans sont déterminés à partir de l'ajustement fréquentiel effectué sur les débits de pointe à la station de Montiers-sur-Saulx. Les résultats de l'ajustement effectué sur les débits sont présentés au tableau 5-59.

Pour la détermination régionale du paramètre de Crupédix – R, une étude locale des critères globaux conditionnant l'écoulement est nécessaire. Le coefficient régional de Crupédix agrège en fait de nombreuses informations caractéristiques des bassins versants et de la transformation pluie-débit parmi lesquelles les suivants :

- l'occupation des sols, la nature du sol et de la roche mère ;
- l'incidence de la topographie générale des versants ;
- l'incidence de la topographie générale du cours d'eau ;
- la forme du bassin versant.

Tableau 5-59 Ajustements fréquentiels effectuées à la station de Montiers-sur-Saulx – Détermination de $Q_{2.\ pointe.\ spécifique}$, $Q_{5.\ pointe.\ spécifique}$, et $Q_{10.\ pointe.\ spécifique}$



Les résultats extraits de l'ajustement fréquentiel sont présentés ci-après.

Station hydrométrique	La Saulx à Montiers-sur-Saulx (55)
Exploitant	Météo-France
Période de retour [ans]	2 ans (soit u(Tr = 2 ans) = 0,37) 10 ans (soit u(Tr = 10 ans) = 2,25)
Valeur médiane débit Q_{Tr} [m³/s]	• $Q_{2.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 13,5 m³/s ; • $Q_{5.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 17,4 m³/s ; • $Q_{10.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 20,1 m³/s.
Valeurs médianes débit spécifique $Q_{Tr.spécifique.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ [l/s/ha]	• $Q_{2.spécifique.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 1,8 l/s/ha ; • $Q_{5.spécifique.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 2,33 l/s/ha ; • $Q_{10.spécifique.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 2,7 l/s/ha.

Le tableau 5-60 synthétise, à l'aide d'indicateurs globaux, l'ensemble des caractéristiques des bassins versants susceptibles d'influencer le régime d'écoulement.

Le coefficient régional de Crupédix est déterminé à partir des données de la station hydrométrique de Montiers-sur-Saulx. Il est à noter que la loi de croissance des débits en fonction de la surface sous-jacente au formalisme de Crupédix est la formule de Myer. Pour mémoire, cette formule prévoit, pour un même cours d'eau, une croissance des débits en « $\alpha S^{0.8}$ ». Pour des cours d'eau et bassins versants différents, l'application des formules de Myer et de Crupédix n'est pas immédiate et requiert une analyse préalable des similitudes entre cours d'eau et bassins versants.

Dans le cas présent et au vu de l'analyse de similitudes entre bassins versants au droit du centre de stockage Cigéo, il est possible d'affirmer les points suivants :

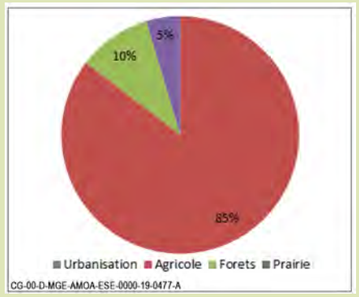
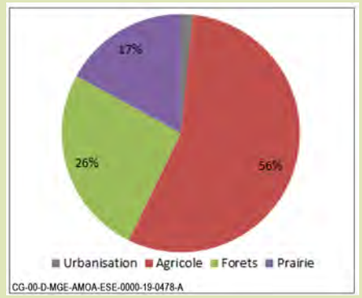
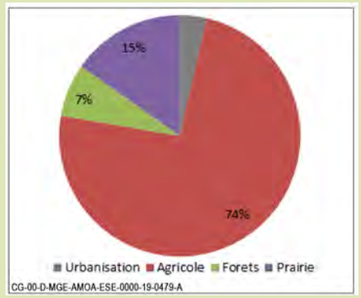
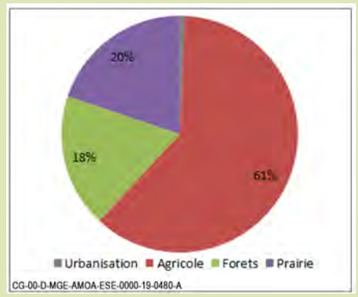
- une crue est d'autant plus amortie que la pente d'écoulement de son cours est faible. Ainsi, le coefficient R risque d'être plus faible pour un cours d'eau à pente plus douce. Dans le cas de la présente étude d'impact, c'est la Saulx qui présente la pente de fond la plus douce ;
- une même pluie provoquera une crue d'autant plus importante que son bassin versant se rapproche de la forme circulaire. Dans le cas de présente étude d'impact, le bassin versant de la Saulx présente une forme plus allongée que ceux de La Bureau et de l'Ormançon et une forme similaire à celui de l'Orge. Ainsi, le coefficient R risque d'être plus faible que pour un bassin versant de forme circulaire.

Ainsi, compte tenu de ces éléments, il est légitime de considérer que le coefficient « R » qui est calculé pour la Saulx sera sans doute plus faible que les coefficients « R » des autres bassins versants, si l'on avait pu les calculer. Cette incertitude est sécuritaire en termes d'incidence résiduelle puisqu'en considérant ici un coefficient « R » faible cela revient à évaluer un débit spécifique bas (peut-être sous-évalué) et donc des conditions dimensionnantes de rejet plus contraignantes.

Ainsi, le coefficient régional de Crupédix est déterminé à partir des données suivantes :

- pluie journalière décennale PJ10, médiane sur le bassin versant étudié. Il s'agit du cumul pluviométrique de pluie journalier ayant une probabilité sur dix de se produire chaque année ;
- débit décennal à l'exutoire Q10, médian à l'exutoire du bassin versant étudié. Il s'agit du débit de pointe ayant une probabilité sur dix d'être atteint ou dépassé chaque année.

Tableau 5-60 Caractéristiques des bassins versants susceptibles d'influencer le régime d'écoulement

	La Bureau Point de rejet du centre de stockage Cigéo	L'Ormançon Point de rejet du centre de stockage Cigéo	L'Orge Point de rejet du centre de stockage Cigéo	La Saulx Station de Montiers-sur-Saulx
Surface [km²]	6,903	16,144	13,359	75,7
Plus long chemin hydraulique [km]	4,16	7,37	9,03	19,63
Pente des versants	>5 %	>5 %	>5 %	>5 %
Pente moyenne du cours d'eau	1,21	0,76	0,44	0,30
Allongement du bassin versant Indice de compacité Gravelius [1]	1,20	1,36	1,90	1,65
Occupation des sols	 Hypothèse : terrain limoneux $Cr_{10.lim}$ = 0,56 $Cr_{100.lim}$ = 0,62 Hypothèse : terrain argileux $Cr_{10.arg}$ = 0,67 $Cr_{100.arg}$ = 0,70	 Hypothèse : terrain limoneux $Cr_{10.lim}$ = 0,47 $Cr_{100.lim}$ = 0,55 Hypothèse : terrain argileux $Cr_{10.arg}$ = 0,60 $Cr_{100.arg}$ = 0,65	 Hypothèse : terrain limoneux $Cr_{10.lim}$ = 0,54 $Cr_{100.lim}$ = 0,60 Hypothèse : terrain argileux $Cr_{10.arg}$ = 0,65 $Cr_{100.arg}$ = 0,69	 Hypothèse : terrain limoneux $Cr_{10.lim}$ = 0,51 $Cr_{100.lim}$ = 0,58 Hypothèse : terrain argileux $Cr_{10.arg}$ = 0,63 $Cr_{100.arg}$ = 0,67
Géologie – Formation géologique affeurante	Dominante J9a : Portlandien inférieur	Dominante J9a : Portlandien inférieur	Dominante J8b : Kimméridgien supérieur et moyen	Dominante J8b en amont : Kimméridgien supérieur et moyen Dominante J9a en aval : Portlandien inférieur

[1] L'indice de compacité de Gravelius (1914) se définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface. Plus cet indice se rapproche de l'unité et plus le bassin versant tend à avoir une forme circulaire.

Détermination des données du projet et dimensionnement des ouvrages de rétention (qualitatif) et de régulation (quantitatif) pour le centre de stockage Cigéo

Le principe de la gestion de la pollution chronique des eaux de ruissellement est de traiter le premier flot d'eaux pluviales susceptible de collecter la majorité des polluants accumulés sur les surfaces imperméabilisées.

À Cirfontaines-en-Ornois, cet abattement de la pollution est atteint pour une pluie de cumul de hauteur 11 mm, soit très proche de la pluie de période de retour Tr = 2 ans et de durée 15 minutes.

C'est pour cette raison que chaque bassin de traitement qualitatif des eaux des zones puits et descenderie est dimensionné par la méthode des pluies pour une pluie de fréquence de retour de deux ans :

- en zone descenderie et en zone puits, ces bassins sont dédoublés afin de permettre la gestion d'une pollution accidentelle dans un dispositif étanche où il sera possible de pomper les eaux polluées dans un délai optimal pour les envoyer dans une filière de traitement adaptée. Ce principe permet de maintenir l'exploitation, à savoir d'assurer notamment le traitement de la pollution chronique avant transfert des eaux vers le bassin quantitatif et cela malgré un confinement d'une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie par l'un des deux bassins. La pluie de retour choisie pour l'abattement de la pollution permet de répondre à l'orientation deux du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Seine Normandie « Maîtriser les rejets par temps de pluie dès l'origine du ruissellement ». Avec ce doublement et les marges de conception retenues, le dispositif est sécuritaire puisqu'il permet en réalité de collecter une pluie de 22 mm ;
- chaque bassin d'écrêtement dit bassin quantitatif des zones puits et descenderie est dimensionné par la méthode des pluies pour une pluie de fréquence de retour centennale et pour un débit spécifique de 6 $L.s^{-1}.ha-1$. La pluie centennale et le débit considéré permettent de respecter les prescriptions du guide n° 13 de l'Autorité de sûreté nucléaire (100), chapitre 2.3.3.1 : « pour les réseaux rejetant dans un autre réseau, un étang ou un cours d'eau dont le niveau est sensible aux pluies locales, le comportement de ces exutoires en réponse à des pluies de référence définies pour les différents bassins versants situés en amont des exutoires ou, à défaut, le débit ou le niveau d'eau centennal du milieu récepteur » ;
- chaque bassin quantitatif de la liaison intersites est dimensionné par la méthode des pluies pour une pluie de fréquence de retour décennale et pour un débit spécifique de 3 $L.s^{-1}.ha^{-1}$;
- chaque bassin quantitatif de l'installation terminale embranchée est dimensionné par la méthode des pluies pour une pluie de fréquence de retour décennale et pour un débit spécifique de 3 $L.s^{-1}.ha^{-1}$et un débit de fuite minimum de 10 $L.s^{-1}$. La prise en compte de la pluie décennale est compatible avec le défi 8 du SDAGE (« Limiter et prévenir le risque d'inondation »).

Tableau 5-61 Types de pluie utilisés pour la conception et valeurs ajoutées

Type de pluie	Objectif	Période de retour	Commentaires
« Famille de pluies bloc d'intensité constante sur une certaine durée de pluie » À période de retour fixée, intensité pluviométrique et durée de pluie sont liées par la loi de Montana.	Gestion du risque d'inondation et non dégradation de la morphologie des cours d'eau. Les calculs d'écrêtement permettent de dimensionner des bassins capables de maîtriser l'impact de l'imperméabilisation et de limiter ainsi le risque d'inondation à l'aval.	2, 5, 10, 100 ans	Il s'agit ici de tester autant de pluies que nécessaire à la bonne conception des bassins. La pluie dimensionnante est la pluie qui nécessite le plus grand volume « tampon », c'est-à-dire de rétention avant rejet à débit régulé.
« Pluie qualitative » ou « Pluie de 11 mm »	Traiter la pollution chronique : Hauteur de pluie correspondant au premier flot d'eaux pluviales susceptibles de collecter la majorité des polluants accumulés sur les surfaces imperméabilisées. Le bassin qualitatif doit être en mesure de stocker le volume nécessaire pour traiter la charge polluante entrante.	-	Les résultats en termes de volume sont proches de la pluie de période de retour Tr = 2 ans et de durée 15 minutes. En zone descenderie et zone puits, les bassins qualitatifs sont doublés. Ce principe permet soit de gérer une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie concomitamment au traitement de la pollution chronique (pluie de 11 mm), soit de collecter une pluie de 22 mm (sécuritaire)).
« Pluie de période de retour : 2 ans de durée 2 heures	Gérer une pollution accidentelle ou la récupération d'eaux d'extinction incendie. Intervention pour une pollution accidentelle ou pour des eaux d'extinction incendie.	2 ans	On suppose qu'un déversement de pollution ou une extinction incendie a lieu, et que la vanne de sortie d du bassin qualitatif devant récupérer la pollution est en position « fermée ». Ces bassins qualitatifs sont en fonctionnement continu et sont, de fait, équipés de bypass, en amont et en aval, permettant d'isoler le bassin ayant piégé une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie. Le scénario critique consiste donc au stockage d'une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie concomitante à une pluie de durée deux heures et de période de retour Tr = 2 ans tout en permettant le maintien de l'exploitation et le traitement de la pollution chronique (pluie de 11mm), ce que permet le principe de redondance de ces bassins. Il est à noter que les marges de conception retenues actuellement permettent pour chaque bassin de reprendre soit deux épisodes de pollution chronique (2*11mm) soit une pollution accidentelle ou la récupération des eaux incendie avec concomitance à une pluie de durée deux heures et de période de retour de deux ans.

5.2.2.4.4 Définition des hypothèses de dimensionnement des traitements des eaux pour le centre de stockage Cigéo

Les données qualitatives concernant les effluents liquides conventionnels (eaux pluviales, eaux pluviales de verses, eaux de fond, eaux usées et industrielles) sont issues des connaissances pratiques et théoriques et des retours d'expériences d'une part et de la réalisation d'essais pilotes en laboratoire d'autre part. Ces données portent sur les effluents bruts et les effluents traités.

a) Les eaux pluviales

Aspect quantitatif et gestion d'une pollution accidentelle ou des eaux incendies

Quand une pollution survient en dehors des aires sensibles évoquées précédemment, le réseau de collecte des eaux pluviales étant imperméable, le flux de polluant aboutit à la filière de gestion des eaux pluviale intégralement.

Ces bassins qualitatifs doivent de fait permettre le confinement d'une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie. Le dimensionnement correspondant consiste au stockage d'une pollution concomitante à une pluie de durée deux heures et de période de retour deux ans considéré comme scénario critique. Les eaux confinées sont ensuite pompées dans des camions citernes et évacuées à l'extérieur du site pour dépollution par une filière de traitement spécifique.

Ces bassins qualitatifs sont doublés et dimensionnés à l'identique pour chaque zone descenderie et puits. Ce principe permet de maintenir l'exploitation, à savoir d'assurer notamment le traitement de la pollution chronique avant transfert des eaux vers le bassin quantitatif et cela malgré un confinement d'une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie par l'un des deux bassins.

Les marges de conception retenues actuellement permettent pour chaque bassin de reprendre soit deux épisodes de pollution chronique (2 × 11 mm) soit une pollution accidentelle ou la récupération des eaux incendie avec concomitance à une pluie de durée deux heures et de période de retour de deux ans. Ils ont une capacité globale de stockage de l'ordre de 20 000 m³ en zone descenderie et 10 000 m³ en zone puits.

Le bypass est également utilisé pour assurer les opérations d'entretien sur chaque bassin, de manière non concomitante et en période favorable (en dehors d'épisodes pluvieux importants).

Le bypass, en amont et en aval, permet d'isoler le bassin ayant piégé une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie et pouvoir faire intervenir une société spécialisée pour les traiter.

Hors pollution accidentelle, les eaux pluviales passent sur des filtres à sable, les eaux collectées sont dirigées vers le bassin quantitatif pour un rejet régulé vers le milieu naturel.

Les bassins quantitatifs permettent quant à eux d'écrêter les pluies majeures (temps de retour 10 ans et 100 ans) et ainsi assurer la non-aggravation des risques d'inondation.

Les principes de conception évoqués permettent bien de confiner une pollution accidentelle ou des eaux d'extinction incendie tout en permettant le traitement de la pollution chronique des eaux de ruissellement. Ces eaux traitées sont ensuite stockées vers des bassins quantitatifs dimensionnés de manière conséquente (pluie centennale) avant un rejet régulé vers le milieu naturel. De fait, les pollutions chronique ou accidentelle des eaux de ruissellement ne seront pas rejetées sans traitement, même ponctuellement, directement dans le milieu naturel sans transiter préalablement par ces bassins.

Aspect qualitatif

Les dispositifs de gestion des eaux pluviales sont dimensionnés et équipés pour obtenir un rejet d'eau compatible avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles au sens de la directive-cadre sur l'eau (DCE) (58).

Les surfaces collectées d'eau pluviales qui rejoignent les différents milieux naturels sont les suivantes :

- la Bureau : nord de la zone descenderie et une partie de la LIS ;
- l'Orge : sud de la zone descenderie, la TFF et l'ITE ;
- l'Ormançon : La zone puits et une partie de la LIS.

La filière est composée de séparateurs hydrocarbures sur les emplacements les plus à risque (parkings, etc.) avant de rejoindre les bassins qualitatifs où une première décantation aura lieu pour retirer les MES (elles-mêmes composées de matière organique, de métaux et d'autres polluants). Enfin, le traitement sera complété par une filtration sur sable, pour retirer la fraction particulaire résiduelle.

Les concentrations des eaux pluviales en entrée de filière de traitement, pour la zone descenderie et la zone puits sont présentées dans le tableau 5-62.

Tableau 5-62 Tableau des concentrations des eaux pluviales (hors eaux de ruissellement des verses) en entrée de filière de traitement (données issues de l'AESN, 2013)

Paramètres étudiés	Concentration des eaux en entrée de filière	
	Zone descenderie	Zone puits
DCO	160 mg/l	125 mg/l
MES	235 mg/l	190 mg/l
HCT	20 µg/l	40 µg/l

Les concentrations en entrée de filière ont été estimées en fonction du trafic routier présent sur le site (différent entre les deux zones). Les concentrations en sortie des filières sont en cohérence avec le bon état écologique des cours d'eau.

b) Les eaux de ruissellement des verses

Les dispositifs de gestion des eaux de ruissellement des verses sont dimensionnés et équipés pour obtenir un rejet d'eau compatible avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles au sens de la directive-cadre sur l'eau (DCE) (58). Le milieu récepteur des eaux de verses traitées est l'Ormançon.

Les concentrations des eaux de ruissellement des verses en entrée et en sortie de filière de traitement sont présentées dans le tableau 1-59.

Tableau 5-63 *Tableau des concentrations des eaux de ruissellement des verses en entrée et en sortie de filière de traitement sur la zone puits*

Paramètres étudiés	Concentration des eaux de ruissellement des verses		Rendement minimal attendu***
	Concentration en entrée de filière	Concentration cible en sortie de filière***	
DCO	81 mg/l	30 mg/l	>63 %
MES	1 900 mg/l	35 mg/l	>98 %
Cu	10 µg/l	1 µg/l	>90%
Pb	24 µg/l	1,2 µg/l	>95 %
Zn	170 µg/l	7,8 µg/l	>95 %
HCT	100 µg/l	1 000 µg/l	-
Cd	0,08 µg/l	0,25 µg/l	-
Al	61 mg/l	0,1 mg/l	>99 %
Sulfate*	2 000 mg/l	250 mg/l	>88 %
Fe	52 mg/l	0,1 mg/l	>99 %
COT	1 mg/l	7 mg/l	-
DBO_5	1 mg/l	6 mg/l	-
NO_3^-	2 mg/l	50 mg/l	-
NH_4^+	0,5 mg/l	0,5 mg/l	0%
NO_2^-	0,2 mg/l	0,3 mg/l	-
P_{tot}	1 mg/l	0,2 mg/l	>83 %
As	20 µg/l	0,83 µg/l	>96 %
Benzo(a)pyrène	<0,005 µg/l	0,001 µg/l **	-
Cr	95 µg/l	3,4 µg/l	96 %
Hg	<0,005 µg/l	0,07 µg/l	-
Ni	83 µg/l	4 µg/l	95 %
Se	2 µg/l	10 µg/l	-
Uranium	1,7 µg/l	30,0 µg/l	-

** Il a été identifié que les sulfates sont présents dans les eaux de verse dans des quantités importantes (présence d'argilite dans le sol). Même si ce paramètre ne possède pas de norme d'un point de vue environnementale, le projet global Cigéo prend les dispositions nécessaires pour traiter ce paramètre pour ne pas perturber l'activité aquatique du milieu. Il est même précisé que certaines eaux minérales ont des concentrations similaires à l'effluent brut en sulfate, ce dernier a donc un impact limité sur la santé. Afin de se fixer sur une valeur, la référence de qualité des eaux potables de l'OMS a été choisie comme limite à respecter, soit 250 mg/l.*

*** Valeur limite de quantification et non une NQE (1.10-4 µg/l)*

**** Dans certains cas, la concentration cible est supérieure à celle de l'eau de verse brute. En effet, les valeurs cibles retenues permettent d'assurer le respect du bon état chimique et écologique des cours d'eau, mais les eaux à traiter peuvent présenter initialement des concentrations plus faibles que ces cibles. Dans ce cas, seul un suivi de ces paramètres sera réalisé pour s'assurer du respect de ces valeurs cibles, mais il n'y aura pas de traitement spécifique nécessaire sur ces paramètres.*

Les concentrations des eaux de ruissellement des verses à traiter sont issues d'études/expérimentations menées afin notamment de consolider/optimiser la filière de traitement dans des conditions de montage et de géométrie de verses plus proches des futures verses du centre de stockage Cigéo.

Du fait des principes constructifs retenus et du contrôle qualité associé, la percolation des eaux dans les verses sera très faible.

La chimie des eaux contenues au sein des argilites (eaux porales naturelles, eaux de percolation…) dépend principalement de la nature et de la teneur en minéraux, des processus d'oxydo-réduction (notamment en présence ou non d'oxygène) et des processus de sorption[24] qui peuvent piéger des éléments chimiques en surface de certains minéraux. Les minéraux argileux, de par leur nature, peuvent ainsi incorporer et retenir à leur surface de nombreux éléments chimiques (cations alcalins et alcalino-terreux, métaux, terres rares…). Quant aux sulfures (qui par oxydation se retrouvent sous forme de sulfates), ils contiennent souvent des éléments traces métalliques (As, Ni, Co, Pb, Zn, Cu, Cd, Mo…), de même que la matière organique. Différentes études réalisées à partir d'argilites excavées depuis le Laboratoire souterrain ont établi que lorsque les argilites sont exposées à l'atmosphère (*i.e.* En présence d'oxygène), notamment à la lixiviation par les eaux de pluie (Scholtus *et al,* 2009 (103))), il se produit les processus géochimiques suivants :

- l'oxydation des sulfures et la dissolution partielle des carbonates dont le pouvoir tampon permet de neutraliser sur le long terme l'acidité produite par l'oxydation des sulfures : des expériences en laboratoire (Marty *et al.,* 2018 (104)) ont en effet montré que des phénomènes de drainage acide liés à l'oxydation des pyrites ne peuvent pas se produire dans les argilites du Callovo-Oxfordien grâce à la neutralisation du pH par les carbonates. Cela est confirmé par un suivi en dispositif d'essai en colonne sur le terrain toujours en cours depuis 2014 (Tremosa *et al.,* 2020 (105). L'oxydation des sulfures génère néanmoins de larges quantités de sulfates ;
- l'oxydation des pyrites et la minéralisation de la matière organique peuvent libérer les éléments traces métalliques qu'ils contiennent.

Il a été montré que les concentrations des éléments métalliques dans les eaux sont limitées, ces éléments étant rapidement réabsorbés sur les minéraux secondaires formés (oxyhydroxydes) (Tremosa *et al.,* 2020 (105)).

Les matériaux mis en verses peuvent générer composés indésirables comme certains métaux, comme identifié sur des essais laboratoires et dont la caractérisation est présente dans le tableau ci-dessus. Ce sont principalement les quantités de sulfates et de matières en suspension ainsi que quelques espèces ioniques cumulées (conductivité)

[24] Phénomène physico-chimique au cours duquel une espèce chimique se concentre à la surface d'un solide (dans ce cadre des minéraux) conduisant à son immobilisation.

dans les eaux de ruissellement et de percolation issues des verses qui sont pris en compte et font l'objet d'attention vis-à-vis d'incidences possibles sur les milieux aquatiques.

Les flux journaliers de pollution apportés par les eaux de verses sont difficilement quantifiables puisqu'ils dépendant directement de la pluviométrie. Il est proposé dans le chapitre 5.5.2 du volume IV de l'étude d'impact de raisonner de la manière suivante :

- pour le flux moyen, les calculs reposent sur un volume d'eau correspondant à la pluviométrie annuelle divisée sur 365 jours jours. Ainsi, cela sera représentatif de la pollution moyenne que recevra le cours d'eau tout au long de l'année ;
- pour le flux maximum, les calculs sont basés sur le débit maximal qui pourra être rejeté au milieu naturel, correspondant au débit rejeté en sortie du bassin quantitatif. Pour cela, le volume a été calculé sur un rejet pendant 24 heures consécutive au débit de fuite à hauteur maximale dans l'ouvrage, soit 96 l/s en phase T1. En phase exploitation, le débit de fuite a été calculé en fonction de la surface active supplémentaire de zone de stockage de verse, deux valeurs qui sont proportionnelles entres elles.

La plateforme de stockage des verses est sur une surface étanche où les eaux pourront être collectées vers la filière de traitement que se compose de prétraitements (décantation avec coagulation/floculation, filtres 10 microns), puis affinage par la mise en place d'une osmose inverse basse pression (nanofiltration).

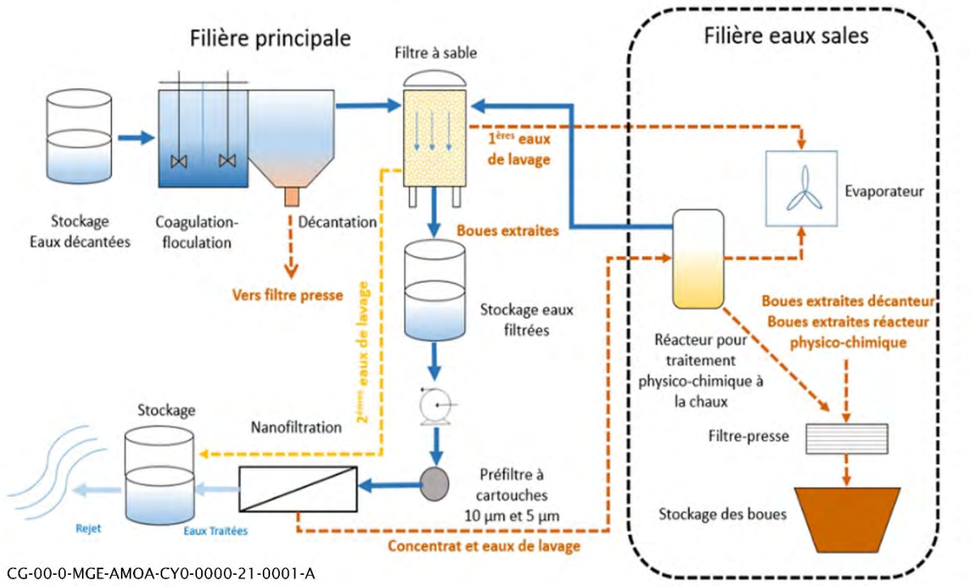


Figure 5-44 *Schéma illustratif de la filière de traitement qualitatif des eaux de ruissellement des verses*

Les dispositifs de gestion eaux de ruissellement des verses sont dimensionnés et équipés pour obtenir un rejet d'eau compatible avec les critères de bon état écologique et chimique des eaux superficielles au sens de la directive-cadre sur l'eau (DCE) (58).

Le traitement des eaux de verse permettra d'assurer une qualité suffisante de l'eau pour être rejetée. Le volume d'eau traité correspond au volume que les bassins qualitatifs peuvent recevoir, soit une pluviométrie de 22 mm (11 mm × 2 bassins). Ce seront les eaux les plus chargées en cas de fortes précipitations.

c) Les eaux de fond

Les eaux de fond regroupent les eaux d'exhaure conventionnelles (infiltrations souterraines suite aux travaux de creusement) et les eaux industrielles (résultant du fonctionnement ou du nettoyage des installations), générées en zone souterraine. Elles regroupent également les eaux liées au fonctionnement du tunnelier.

L'ensemble de ces eaux produites et collectées au fond fait l'objet d'une gestion (collecte, traitement) mutualisée avant réutilisation de l'eau dans les procédés industriels (nettoyage ou autre) ou avant rejet au milieu naturel. Les eaux générées en zone souterraine sont remontées quotidiennement en surface à l'aide de réseaux de relevage.

Du fait de leur réutilisation, le rejet des eaux de fond est limité, réduisant ainsi l'impact sur le milieu naturel. Ces eaux traitées seront sotckées sur une durée maximale de sept jours pour être réutilisées. Au-delà, il y a des risques de développement bactérien et les eaux traitées rejoindront le milieu naturel. Les eaux de fond épurées rejoignent alors La Bureau en zone descenderie et à l'Ormançon en zone puits selon les mêmes règles de respect des niveaux de bon état chimique des cours d'eau.

Les dispositifs de traitement des eaux de fond sont dimensionnés en prévision de la charge hydraulique de pointe à traiter sur chacune des deux zones descenderie et puits au cours des phases de construction initiale et de fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

Compte tenu des niveaux de rejet, la filière de traitement proposée est la suivante :

- un traitement primaire : prétraitements des eaux brutes permettant la récupération mécanique des éléments les plus accessibles, avec :
  - ✓ une première décantation pour éliminer les particules en suspension facilement décantables ;
  - ✓ un poste de refoulement ;
- un traitement secondaire, avec :
  - ✓ une coagulation/floculation à l'aide de sels d'aluminium ou de fer ;
  - ✓ une décantation lamellaire ;
  - ✓ une filtration à 10 µm pour finaliser le traitement ;
- un traitement tertiaire, avec une désinfection à la javel pour assurer une absence de micro-organismes ainsi qu'une rémanence dans les cuves de stockage.

Les concentrations des eaux de fond en entrée et en sortie de filière de traitement, pour la zone descenderie et la zone puits sont présentées dans le tableau 5-64.

Les concentrations en entrée de filière ont été simulées par constitution d'un échantillon représentatif à base de boues de carbonates de calcium issues d'une station d'eau potable, de laitance de béton et d'effluent pétrochimique, et de concentrât d'osmose inverse.

Tableau 5-64 *Tableau des concentrations des eaux de fond en entrée et en sortie de filière de traitement*

Paramètres étudiés	Concentration en entrée de filière	Concentration cible en sortie de filière	Rendement épuratoire minimal attendu**
DBO_5	5 mg/l	6 mg/l	
DCO	41 mg/l	30 mg/l	>27 %
NTK	0,8 mg/l	2,0 mg/l	
P_{tot}	0,6 mg/l	0,20 mg/l	>67 %
PO_4^{3-}	0,83 mg/l	0,50 mg/l	>40 %
MES	140 mg/l	35 mg/l	>5 %
As	11 µg/l	0,83 µg/l	>92 %
HCT	<0,1 mg/l	1 mg/l	
Al	470 µg/l	100 µg/l	>79 %
NH_4	<0,5 mg/l	0,5 mg/l	
Cd	<0,05 µg/l	0,25 µg/l	
Cr	1,6 µg/l	3,4 µg/l	
Cu	2,6 µg/l	1,0 µg/l	>62 %
Fe	3 mg/l	0,1 mg/l	>96 %
Hg	<0,2 µg/l	0,07 µg/l	
Ni	12 µg/l	4 µg/l	>67 %
Pb	<1µg/l	1 µg/l	
Zn	24 µg/l	8 µg/l	>68 %
Se	48 µg/l	10 µg/l	>79 %
Benzo(a)pyrène	<0,005 µg/l	0,001 µg/l *	

** Valeur limite de quantification et non une NQE (1.10-4 µg/l)*

*** Dans certains cas, la concentration cible est supérieure à celle de l'eau de verse brute. En effet, les valeurs cibles retenues permettent d'assurer le respect du bon état chimique et écologique des cours d'eau, mais les eaux à traiter peuvent présenter initialement des concentrations plus faibles que ces cibles. Dans ce cas, seul un suivi de ces paramètres sera réalisé pour s'assurer du respect de ces valeurs cibles, mais il n'y aura pas de traitement spécifique nécessaire sur ces paramètres.*

L'ensemble des critères des valeurs de bon état écologique et chimique des cours d'eau sera respecté ainsi que la norme de rejet, et par conséquent les normes de réutilisation de l'eau qui sont moins contraignantes.

d) Les eaux usées

Les stations d'épuration sont construites en phase d'aménagements préalables, puis mises en exploitation pendant les autres phases du projet global Cigéo. Leur dimensionnement est fondé sur les besoins en eau et sur les usages en incluant leurs charges polluantes.

Les eaux usées regroupent les eaux vannes (WC), les eaux grises (douches, lavabos, cuisine…) et les eaux industrielles de surface. L**es eaux industrielles** sont les eaux produites par les travaux et activités du projet global Cigéo par exemple au niveau des aires de lavages, des centrales de béton, des ateliers.

Aspect quantitatif

Pour les eaux usées, l'aspect quantitatif nécessite l'évaluation de deux termes :

- le volume d'eaux usées produit pendant la période où a lieu la plus grande consommation d'eau potable ;
- le volume d'eaux industrielles des installations de surface produit pendant la période où les procédés et chantiers consomment la plus grande quantité d'eau potable ou d'eau recyclée.

Le premier terme (exprimé en $m^3.j^{-1}$) est défini par le produit des effectifs maximums pouvant être présents simultanément au sein de chaque période (pour phases de construction initiale et fonctionnement) et par le besoin journalier en eau par jour par personne lequel est 0,075 $m^3.j^{-1}$, correspondant à ½ équivalent temps plein.

Le second terme (exprimé en $m^3.j^{-1}$) cumule :

- condensats des batteries froides provenant des centrales de traitement d'air ;
- condensats des réseaux d'air comprimé ;
- lavage de sols ;
- lavage de matériels lors des étapes d'entretiens ;
- eaux issues des ateliers mécanique ou de maintenance ;
- eaux issues des magasins/entrepôts ;
- lavage des véhicules ;
- rejets des laboratoires (après contrôle radiologique négatif) ;
- eaux de procédé issues des opérations chimiques telles que, par exemple régénération de résines échangeuses d'ions (adoucisseur d'eau).

La somme de ces deux estimations fournit le dimensionnement recherché, soit une charge hydraulique exprimée en $m^3.j^{-1}$.

Pour les eaux usées, la charge hydraulique à traiter exprimée en équivalent habitant (EH) est obtenue ensuite en divisant par 0,150 m^3/j/EH celle exprimée en m^3/j.

Pour la **zone descenderie,** les capacités maximales à prendre en compte pour le dimensionnement de la station d'épuration est de l'ordre de 1 700 EH (durant la construction initiale), avec contrainte de variations de charges, hydrauliques et polluantes, importantes. Ce dimensionnement correspond au maximum atteint en phase de construction initiale.

Pour la **zone puits,** les capacités maximales à prendre en compte pour le dimensionnement de la station d'épuration est de l'ordre de 675 EH (durant la construction initiale), mais elle devra pouvoir accepter des variations de charges, hydrauliques et polluantes, importantes.

Aspect qualitatif (106)

L'équivalent-habitant est une unité de mesure définie en France par l'article R. 2224-6 du code général des collectivités territoriales comme la charge organique biodégradable ayant une demande biologique en oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour. Elle permet de déterminer facilement le dimensionnement des stations d'épuration en fonction de la charge polluante.

Les ouvrages d'épuration du centre de stockage Cigéo doivent être considérés comme des installations traitant d'un mix d'effluents industriels et urbains. Il est à ce titre retenu pour le dimensionnement des dispositifs que la charge de pollution produite pour 1 équivalent habitant est aussi de :

- 150 L/j d'eaux usées ;
- 90 g/j de matières en suspension.

Pour l'évaluation de la charge polluante à traiter, une hypothèse a été établie pour permettre son calcul :

- les eaux usées de types eaux vannes (issues des toilettes) et eaux grises (issues des lavabos et douches) peuvent être assimilées à des eaux domestiques, puisqu'elles sont issues des rejets par les effectifs (personnel) présents sur place. Ainsi, le volume et la charge polluante de ces eaux usées ont été déterminés à partir des ratios habituellement utilisés pour des eaux usées domestiques appliqués à des effectifs industriels. Il a été choisi de tenir compte de valeurs plutôt élevées en concentration par rapport à ce qui peut être énoncé par la littérature.

Tableau 5-65 Concentrations en pollution – Eaux usées domestiques

Paramètres	Ratio d'un Equivalent Habitant	Concentration
Débit journalier	150 l/l	-
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO5)	60 g/j	400 mg/l
Demande chimique en oxygène (DCO)	150 g/j	1 000 mg/l
Matières en suspension (MES)	90 g/j	600 mg/l
Azote Kjeldahl (NTK)	15 g/j	100 mg/l
Phosphore total (Pt)	2 g/j	15 mg/l

- pour la qualité des effluents industriels, la moitié du débit des eaux, issue des condensats, ne présente pas de charge polluante spécifique. L'autre moitié du débit des eaux industrielles correspond à des eaux de lavage avec les concentrations suivantes (respect de l'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (107).

Tableau 5-66 Concentrations en pollution – eaux industrielles associées aux eaux de lavage

Paramètres	Concentration en mg/l
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO5)	800
Demande chimique en oxygène (DCO)	2 000
Matières en suspension (MES)	600

Paramètres	Concentration en mg/l
Azote Kjeldahl (NTK)	100
Phosphore total (Pt)	15

Sur la base des hypothèses formulées concernant la charge polluante des eaux industrielles, c'est-à-dire 50 % du volume sans charge polluante spécifique, les concentrations retenues (soit 50 %) sont celles du tableau ci-après.

Tableau 5-67 Concentrations en pollution retenues pour les eaux industrielles à traiter

Paramètres	Concentration en mg/l
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO5)	400
Demande chimique en oxygène (DCO)	1 000
Matières en suspension (MES)	300
Azote Kjeldahl (NTK)	50
Phosphore total (Pt)	7,5

La capacité règlementaire de la station d'épuration est déterminée à partir du paramètre DBO_5.

Les eaux usées et industrielles sont traitées en mélange. Ainsi, pour le dimensionnement des équipements de dépollution et pour identifier le rendement attendu, la valeur de concentration la plus défavorable entre les eaux usées et les eaux industrielles ont été identifiées dans le tableau ci-dessous en entrée de filière. Cela permet de s'assurer de l'efficacité du traitement en toute situation. Le tableau suivant présente également des données de qualité microbiologique selon le retour d'expérience des spécialistes de l'eau.

Tableau 5-68 Tableau des concentrations des eaux usées et industrielles de surface en entrée et en sortie de filière de traitement

Paramètres étudiés	Concentration en entrée de filière	Norme de rejet en sortie de filière	Rendement épuratoire minimal attendu
	Zone descenderie et zone puits	Zone descenderie et zone puits	
DBO_5	400 mg/l	6 mg/l	>99 %
DCO	1 000 mg/l	30 mg/l	>97 %
MES	600 mg/l	35 mg/l	>94 %
NTK	150 mg/l	2 mg/l	>99 %
NO_3^-	133 mg/l	50 mg/l	>62 %
NO_2^-	-	0,3 mg/l	-
P_{tot}	15 mg/l	0,2 mg/l	>99 %
PO_4^{3-}	37 mg/l	1 mg/l	>99 %
Chrome	0,05 mg/l	0,003 mg/l	>93 %
HCT	<0,1 mg/l	1 mg/l	-
Coliformes totaux	10^9 UFC/100 ml	500 UFC/100 ml	>7 log
Coliformes fécaux	10^8 UFC/100 ml	Les coliformes totaux serviront de témoin de contamination et de mesure d'efficacité des traitements. Les traitements en place ne sont pas sélectifs et seront efficaces sur toute la flore microbiologique.	
Kystes et oocysres de protozoaires	10^4 kystes/100 ml		
Virus	10^5 virus/100 ml		

** L'élimination d'un log sur le paramètre biologique correspond à diviser par 10 la pollution concernée. C'est une mesure couramment utilisée dans le domaine microbiologique.*

PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT

Tous les dimensionnements sont réalisés en considérant la période la plus défavorable pour tout rejet dans le milieu naturel, soit celle de la période d'assec des cours d'eau. Les critères qualitatifs des rejets sont ceux permettant l'atteinte du bon état chimique et écologique des eaux superficielles

Les niveaux de qualité requis pour la réutilisation des eaux usées industrielles traitées pour différents usages sont également définis comme paramètre de dimensionnement de la chaîne de traitement.

Les traitements ont été définis en fonction des normes de rejet applicables au site présentées dans au chapitre 5.2.2.4.5 du présent volume (atteinte du bon état écologique et chimique).

L'abattement de cette pollution sera possible à l'aide la filière envisagée et testée par un constructeur. Elle comprend :

- un traitement primaire : prétraitements des eaux brutes permettant la récupération mécanique des éléments les plus accessibles, avec ;
- un traitement secondaire, avec :
  - ✓ un ajout de chlorure ferrique (traitement du phosphore) ;
  - ✓ un traitement sur disques biologiques (traitement pollution organique) ;
  - ✓ une filtration sur un lit planté de roseaux (filtration des boues) ;
- un traitement tertiaire, avec :
  - ✓ une filtration sur charbon actif (adsorption de microlluants) ;
  - ✓ une ultrafiltration (protection de la nanofiltration) ;
  - ✓ une nanofiltration (traitement de finition pour l'épuration des ions métalliques et des nitrates) ;
  - ✓ une désinfection à la javel pour assurer une absence de micro-organismes ainsi qu'une rémanence dans les cuves de stockage.

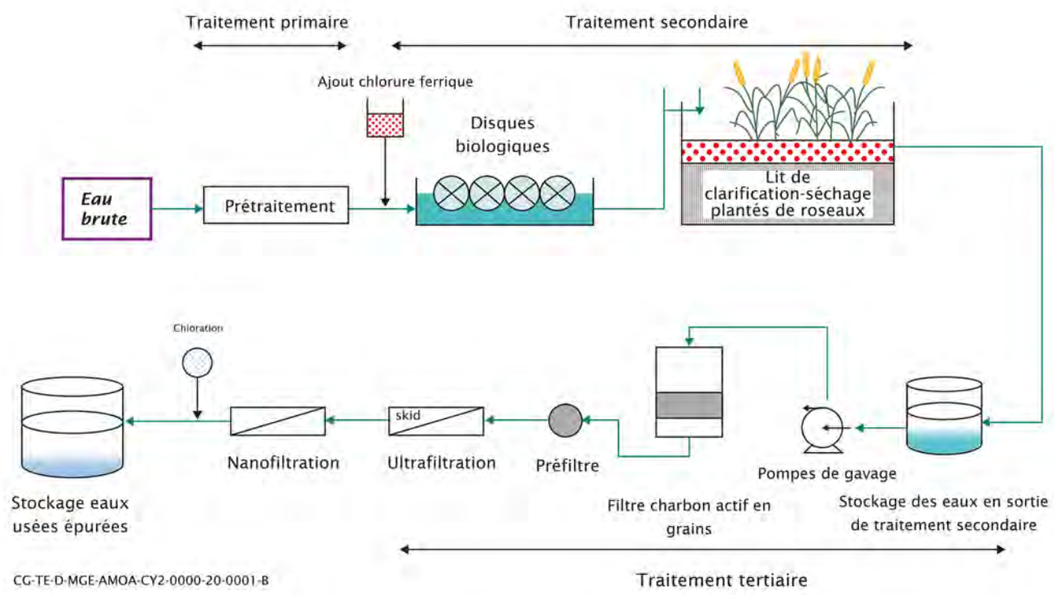


Figure 5-45 Schéma illustratif de la filière de traitement qualitatif des eaux usées industrielles

<u>Volumes à traiter et flux de pollution rejetés</u>

La définition des flux et des volumes rejetés dans le milieu naturel sont détaillés au chapitre 5.5.2 du volume IV de l'étude d'impact.

e) Production de boues

Les stations de traitement pour les eaux conventionnelles et les eaux pluviales peuvent créer des déchets sous forme de boues qu'il faudra, en fonction des analyses physico-chimiques de ces dernières, déshydrater et évacuer dans des filières de valorisation ou de stockage de déchets ultimes. Ces filières peuvent être :

- l'épandage agricole sous réserve que les boues constituent un amendement suffisant et de trouver des champs à proximité ;
- la valorisation en compostage ou en méthanisation si elles présentent une concentration en carbone organique suffisante ;
- l'incinération si elles sont suffisamment déshydratées ;
- l'installation de stockage de déchets en cas de boues très minérales sans filière de valorisation.

Aux vues des analyses sur les eaux à traiter, il semblerait que les eaux usées et industrielles soient les seules qui pourraient trouver une voie de valorisation du fait de leur composition en matière organique.

Les volumes des boues ainsi que leur composition sont en cours d'études afin de trouver la filière la plus adaptée à chacune. La valorisation sera privilégiée. Concernant les filières sur les eaux pluviales et les eaux de verses, la quantification de la production de boues n'est pas quantifiée car elle dépend essentiellement de la pluviométrie (en cas de fortes intensité, le lessivage sera plus important avec des eaux plus chargées). De plus, plusieurs expérimentations sont prévues sur ces boues, comme l'étude sur le comportement du dépôt d'argilites pour les eaux de verses, avec des simulations en laboratoire du comportement des eaux pluviales sur les verses en se plaçant dans des conditions proches de la mise en œuvre du centre de stockage Cigéo. Les objectifs de cette expérimentation sont de consolider les filières de traitement. De même que des expérimentations sont à mener pour les résidus des traitements membranaires (ultrafiltration, nanofiltration), difficilement quantifiable sans essais au préalable en laboratoire.

Le tableau ci-dessous reprend les bases de calcul des boues sur l'année pour les eaux usées et les eaux de fond avec un taux de matière sèche théorique de 20 % après déshydratation.

Les centres de traitement et de valorisation sont à définir, mais les priorités iront vers les solutions environnementalement viables comme l'épandage, le compostage, la valorisation matière, etc.

Tableau 5-69 Volumes de boues estimés

Type d'eau	Zone	Critères	Valeur en phase de construction initiale	Valeur en phase de fonctionnement
Eau usée et industrielle [1]	Zone descenderie	Volume moyen (m3/an)	59 982	16 133
		[MES] (mg/l)	600	600
		[DBO5] (mg/l)	400	400
		Rendement (%)	99 %	99 %
		Boues (t/an)2	262	71
	Zone puits	Volume moyen (m3/an)	19 254	12 410
		[MES] (mg/l)	600	600
		[DBO5] (mg/l)	400	400
		Rendement (%)	99%	99%
		Boues (t/an) 2	84	54
Eau de fond [2]	Zone descenderie	Volume moyen (m3/an)	59 738	33 580
		[MES] (mg/l)	140	140
		Rendement (%)	99 %	99 %
		Boues (t/an)	41	23
	Zone puits	Volume moyen (m3/an)	43 891	34 513
		[MES] (mg/l)	140	140
		Rendement (%)	99%	99%
		Boues (t/an)	30	24

1 : Sur la base du volume moyen produit par phase et par jour, pour 365 jours par an

2 : S'agissant de traitement biologique, une biomasse épuratrice se formera et retrouvera dans les boues. Le ratio de production de biomasse a été estimée à 0,7 kgBiomasse/kg [DBO_5] éliminée, valeur couramment observée dans les stations d'épuration urbaine.

5.2.2.4.5 Détermination de l'impact qualitatif des rejets pluviaux et rejets conventionnels épurés du centre de stockage Cigéo sur les masses d'eaux superficielles

a) Rappel réglementaire des objectifs environnementaux

- la directive cadre sur l'eau (DCE) n° 2000/60/CE du 23 octobre 2000 (58) vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation avec une politique communautaire globale dans le domaine de l'eau. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen avec une perspective de développement durable (articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement) ;
- l'application de la Loi sur l'eau est un prérequis dans la définition des solutions de traitement des eaux et du cycle de l'eau de manière plus globale ;
- la cohérence avec le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau Rhin-Meuse 2022-2027 prescrivant les objectifs à atteindre pour le réseau hydrographique du bassin versant ;
- le calcul de l'incidence des rejets sur la qualité des eaux du milieu hydraulique superficiel est réalisé par rapport à l'objectif de qualité fixé pour le milieu : respect du bon état écologique pour les eaux superficielles.

b) Définition des normes de rejet

Les eaux pluviales

Ces eaux respecteront les normes de bon état chimique et écologique du milieu naturel pour les paramètres DCO et MES (arrêté du 27 juillet 2018 (79)). Pour les hydrocarbures, il n'y a pas de critère de bon état du milieu naturel. C'est donc une norme correspondante aux performances d'un séparateur d'hydrocarbures (avec cellule de coalescence) qui sert de référence.

Les eaux pluviales sont plus difficiles à gérer et à traiter du fait de débits quotidiens très irréguliers. De plus, ces eaux sont déjà présentes en situation actuelle. L'apparition du centre de stockage est prévue avec des bassins qualitatifs et quantitatifs permettant de réguler les débits rejetés pour réduire le risque d'inondation, tout en limitant le flux de pollution journalier. Le débit de fuite régulé et le respect des paramètres globaux de pollution permettent de ne pas dégrader la qualité du milieu par rapport à la situation actuelle.

Ainsi les normes de rejet sont :

- DCO : 30 mg/l ;
- MES : 35 mg/l ;
- Hydrocarbures : 5 mg/l.

À noter que la norme sur les hydrocarbures est plus stricte sur les eaux industrielles (présentée dans le tableau ci-avant) car ces dernières sont sujettes à des traitements plus avancés. La norme hydrocarbure pour les eaux pluviales correspondent aux retours d'expérience et aux garanties des constructeurs sur ce paramètre avec un séparateur d'hydrocarbures (avec cellule de coalescence).

Les pollutions éventuelles apportées lors du ruissellement des espaces imperméabilisés (matières en suspensions, hydrocarbures....) sont traités afin que les rejets n'aient pas d'incidence sur le milieu naturel celui-ci. De plus, la mise en place des bassins quantitatifs permettra de lisser les débits en cas de fortes pluies afin de permettre l'évitement d'inondation en aval du centre de stockage Cigéo. Le flux de pollution apporté (produit des concentrations avec les volumes rejetés) n'aggravera donc pas le milieu naturel.

Les eaux conventionnelles

Les eaux conventionnelles (eaux industrielles, eaux de fond et eaux de verses) feront l'objet d'un traitement spécifique à chaque effluent en fonction d'essais pilotes en laboratoire réalisés sur des échantillons représentatifs.

L'objectif de la Directive-cadre sur l'eau est l'atteinte du bon état écologique et chimique des cours d'eau. En règle générale, en fonction de la qualité de l'eau, le milieu naturel est capable d'accepter des charges de pollution plus ou moins importantes. Or, les cours d'eau récepteurs (l'Orge, La Bureau et L'Ormançon) présentent des périodes d'assecs relativement importantes pendant lesquelles des rejets d'eaux usées traitées pourront avoir lieu. Dans

l'objectif de respecter le bon état écologique des cours d'eau tout au long de l'année, les normes appliquées aux rejets seront donc les valeurs de bon état chimique des cours d'eau (qui revient à considérer l'eau traitée comme l'eau du milieu naturel, référentiel très restrictif et rarement appliqué dans d'autres stations d'épuration).

Les normes utilisées ont été définies en fonction de l'acceptabilité du milieu naturel dans un objectif de conservation d'un bon état écologique et chimique des cours d'eau selon la directive-cadre sur l'eau (58). À noter que le bon état écologique des cours d'eau n'est pas identifié pour tous les paramètres. Afin d'anticiper l'évolution des règlementations, les normes sur d'autres polluants spécifiques liés à l'activité des installations seront également respectées, permettant d'être le plus respectueux possible de l'environnement tout en protégeant le milieu naturel pour les utilisations en aval des rejets des installations.

Ainsi, les référentiels utilisés sont les suivants :

- l'arrêté du 27 juillet 2018 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologiques des eaux de surface. Les valeurs de bon état chimique et écologique des cours d'eau sont utilisées comme références (80). Lorsqu'il existe plusieurs valeurs de référence de norme de qualité environnementale (NQE), alors la valeur la plus contraignante est choisie entre NQE-MA (moyenne annuelle) et NQE-CMA (concentration maximale admissible) ;
- d'autres valeurs de définition de l'état du milieu naturel issues du système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQeau) version 2 (108). Cette classification n'est plus en vigueur depuis plusieurs années, mais elle permet d'obtenir des valeurs de référence qui ne sont pas toujours prises en compte dans les dans les nouveaux textes règlementaires ;
- l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (109). Cela concerne en particulier la qualité des eaux brutes à destination d'un traitement de potabilisation qui pourrait être implanté en aval du site. Ces exigences permettent d'assurer une utilisation mutuelle de l'eau entre différents acteurs ;
- les valeurs guides des eaux de baignade, en visant les valeurs de bon état pour les paramètres microbiologiques (paramètres rarement traités dans les stations d'épuration actuelles). L'objectif est d'assurer la continuité de ces activités si elles s'avéraient être présentes à l'avenir à l'aval du site ;
- le guide de qualité des eaux de l'Organisation mondiale de la santé de 2017 pour les paramètres radiologiques.

Le Tableau 5-70 reprend l'ensemble des paramètres de rejet.

Tableau 5-70 Normes de rejet applicables au site

Paramètre	Valeur	Document de référence
pH	]6-9[	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général (80)
Turbidité	35 NFU	Valeur de bon état chimique de la SEQ Eau Version 2
Température de l'eau	25,5 °C	Arrêté du 27 juillet 2018 => paramètre général pour les cyprinicoles
Conductivité à 25 °C	]120 3000[	Valeur de bon état chimique de la SEQ Eau Version 2
Coliformes totaux	500 UFC/100 ml	Valeur guide pour le bon état des eaux de baignade
Escherichia coli	100 UFC/100 ml	Valeur guide pour le bon état des eaux de baignade
DBO_5	6 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
DCO	30 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
COD	7 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
MES	35 mg/l	Valeur de bon état chimique de la SEQ Eau 2003 Version 2 à 50 mg/l
NTK	2 mg/l	Valeur de bon état chimique de la SEQ Eau Version 2
NH_4	0,5 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
NO_3^-	50 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
NO_2^-	0,3 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
Pt	0,2 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
PO_4^{3-}	0,5 mg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE paramètre général
HCT	1 mg/l	Arrêté ministériel du 11 janvier 2007 => Qualité de l'eau brute pour la production d'eau potable (109)
Al	0,1 mg/l	Valeur de bon état chimique de la SEQ Eau Version 2
Sulfates *	250 mg/l	Arrêté ministériel du 11 janvier 2007 => Qualité de l'eau brute pour la production d'eau potable
Fe	0,1 mg/l	Arrêté ministériel du 11 janvier 2007 => Qualité de l'eau brute pour la production d'eau potable
Cu	1,0 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE
Pb	1,2 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE-MA
Zn	7,8 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE
HAP	0,2 µg/l	Arrêté ministériel du 11 janvier 2007 => Qualité de l'eau brute pour la production d'eau potable
Cd	0,25 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE-MA **
As	0,83 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE
Benzo(a)pyrène	0,00017 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE-MA ***
Cr	3,4 µg/l	Valeur NQE (Arrêté 27 juillet 2018)
Hg	0,07 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE-CMA
Ni	4 µg/l	Arrêté du 27 juillet 2018 => NQE-MA
Se	10 µg/l	Arrêté ministériel du 11 janvier 2007 => Qualité de l'eau brute pour la production d'eau potable
Uranium	30 µg/l	*World Health Organization* (2017) => Valeur guide sur l'eau potable
Activité Alpha globale	0,1 Bq/l	Arrêté ministériel du 11 janvier 2007 => Valeur de référence de qualité de l'eau potable
Activité Béta globale résiduelle	1,0 Bq/l	Arrêté ministériel du 11 janvier 2007 => Valeur de référence de qualité de l'eau potable

Paramètre	Valeur	Document de référence

** Norme applicable uniquement sur les eaux de verses. Il a été identifié que les sulfates sont présents dans les eaux de verse dans des quantités importantes. Même si ce paramètre ne possède pas de norme d'un point de vue environnementale, le projet global Cigéo a pris les dispositions nécessaires pour traiter ce paramètre pour ne pas perturber l'activité aquatique du milieu. Il est même notable que certaines eaux minérales ont des concentrations similaires à l'effluent brut en sulfate, ce dernier a donc un impact limité sur la santé.*

*** Cadmium : eau du milieu naturel avec une dureté moyenne de 25-30°f, soit une classe V*

**** À noter que dans l'état actuel des technologies d'analyse, cette valeur est inférieure aux limites de quantification (0,001µg/l selon la norme NF EN ISO 17993 de 2004 (110)). Il n'est donc pas possible de viser mieux que la limite de quantification actuellement.*

À noter que l'arrêté du 27 juillet 2018 (80) présente également des normes de qualité environnementale d'autres composants qui ne sont pas mentionnées dans le tableau précédent puisque l'activité du site ne sera pas à l'origine de ces substances (c'est l'exemple de certains pesticides).

Cas particulier de la radioactivité naturelle dans les eaux conventionnelles

Le projet global Cigéo s'engage à suivre la qualité radiologique des eaux de son site, même si les eaux conventionnelles ne seront en contact avec aucun élément radioactif.

Il n'existe pas de règlementation environnementale pour ce paramètre, seule une qualité d'eau potable de 30 µg/l d'uranium est prescrite par l'OMS. Cette concentration couvre très largement les effets indésirables chimiques et toxicologiques pour l'être humain, mais également pour la faune et la flore aquatiques ainsi que l'environnement en général. Cette valeur servira alors de guide lors des analyses d'eau.

De même, une analyse plus générale sera réalisée avec des mesures de la radioactivité alpha et radioactivité résiduelle béta pour des normes issues de la règlementation française de la qualité d'eau potable, respectivement de 0,1 Bq/l et 1 Bq/l. Ces normes ne définissent pas un seuil de dangerosité pour la consommation humaine, mais l'atteinte de ces valeurs engendre un diagnostic complet des éléments radioactifs de l'eau pour en identifier la cause. En effet, on notera que des éléments radioactifs sont des éléments naturellement présents à l'état de trace sur l'ensemble du globe. Dans le cas du site d'étude, des traces ont été observées (cf. Chapitre 5 du volume III de l'étude d'impact), dans des quantités bien inférieures aux valeurs précisées ci-avant. De plus, ces activités couvrent largement les possibilités de pollution en uranium 238 (élément radioactif majoritaire) puisqu'une pollution de cet élément à une concentration de 30 µg/l correspondrait à une activité alpha d'environ 1 Bq/l, soit 10 fois supérieure à la norme prévue.

Pour tous les rejets d'eau dans le milieu naturel, l'activité alpha et béta sera donc suivie selon les recommandations de l'OMS, normalement valable pour de l'eau potable.

6

Biodiversité et milieu naturel - Méthodes

6.1	État initial du milieu naturel	140
6.2	Incidences sur le milieu naturel	182
6.3	Compensation écologique	188
6.4	Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000	199

6.1 État initial du milieu naturel

L'établissement de l'état initial du milieu naturel est effectué par recueil des données faune, flore, habitats disponibles auprès des organismes compétents, complété par des analyses documentaires et des inventaires de terrain réalisés par des bureaux d'études spécialisés (voir liste au volume I de la présente étude d'impact).

6.1.1 Recensement des zonages environnementaux

Différents types de zonages environnementaux sont mis en œuvre afin de protéger ou d'identifier des espaces naturels d'intérêt. Ont été répertoriés tous les zonages présents dans l'aire d'étude éloignée du milieu naturel :

- les zonages environnementaux réglementaires qui 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 des Conservatoires des espaces naturels, sites du Conservatoire du littoral et des rivages lacustres…) ;
- les zonages internationaux (sites Ramsar, réserves naturelles de biosphère) ;
- les zones humides notamment les zones à dominantes humides (ZDH).

Le recensement de ces espaces s'appuie sur les données administratives concernant les milieux naturels et le patrimoine écologique. Les sites institutionnels suivants ont été consultés :

- les sites des DREAL de Lorraine et Champagne-Ardenne, à présent regroupées en DREAL Grand Est ;
  - ✓ Carte générale DREAL Grand Est ;
  - ✓ CARMEN Lorraine ;
  - ✓ CARMEN Champagne-Ardenne ;
  - ✓ le site de l'INPN (inventaire national du patrimoine naturel) pour la consultation des fiches descriptives des différentes zones présentes.

[25] https://inpn.mnhn.fr/accueil/index.
[26] https://www.faune-champagne-ardenne.org/.

6.1.2 Analyse bibliographique et réalisation d'inventaires faune-flore

6.1.2.1 Analyse bibliographique

Afin de prendre en compte des données existantes sur l'aire d'étude immédiate du centre de stockage Cigéo, une étude bibliographique a été menée sur la période 2010 à 2021. Les données bibliographiques au niveau des communes concernées par le centre de stockage Cigéo ont été consultées (Inventaire national du patrimoine naturel[25], faune Champagne-Ardenne[26], faune Lorraine[27], Conservatoires botaniques (111, 112), Observatoire pérenne de l'environnement), afin de recueillir les informations naturalistes relatives au secteur d'étude et de préparer les campagnes de terrain. Elles donnent une première vision des espèces potentiellement présentes sur l'aire d'étude immédiate. Cette analyse bibliographique permet également de statuer sur la présence d'espèces patrimoniales et/ou protégées non observées lors des inventaires réalisés entre 2015 et 2020 dans l'aire d'étude immédiate, mais relevées antérieurement dans la bibliographie ou à proximité de l'aire d'étude immédiate.

Une analyse de la bibliographie et des informations disponibles a été réalisée en préalable aux inventaires de terrain, afin d'avoir une connaissance du contexte écologique et des espèces potentiellement présentes.

Les sites institutionnels et les bases de données régionales ont également été consultés :

- les sites des DREAL de Lorraine et Champagne-Ardenne, à présent regroupées en DREAL Grand Est :
  - ✓ CARMEN Lorraine ;
  - ✓ CARMEN Champagne-Ardenne ;
  - ✓ carte générale DREAL Grand Est ;
  - ✓ faune Lorraine[27] ;
- CPEPESC « Connaitre et protéger les chauve-souris de Lorraine », janvier 2009 (113)

Les informations (espèces et habitats) issues des fiches descriptives des zonages environnementaux présents dans l'aire d'étude éloignée ont été exploitées à partir du site de l'INPN[25].

L'ensemble des données collectées par l'Andra dans le cadre du suivi environnemental du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ou de l'OPE avant 2015 est également pris en compte comme données bibliographiques sur la période 2010/2015.

6.1.2.2 Pré-diagnostic – reconnaissance des sites d'intérêt

La première étape d'une expertise consiste en une reconnaissance préalable, avant toutes prospections sur le terrain, à partir de données cartographiques (cartes IGN au 1/25 000ème) ou d'orthophotoplans. L'analyse de l'ensemble de ces données à disposition sert de base à l'identification des habitats et des secteurs potentiellement favorables à la présence d'espèces floristiques et faunistiques (friches, lisières favorables, linéaires de haies, zones humides…) sur les aires d'étude immédiate.

En complément, l'étude des photographies aériennes permet de dégager les principaux grands types d'habitats (forestiers, herbacés, humides, aquatiques).

6.1.2.3 Inventaires de terrain

Pour le centre de stockage Cigéo, les prospections écologiques commanditées par l'Andra sur les habitats, la flore et la faune et prises en compte dans le cadre de cette étude ont été effectuées de 2015 à fin 2020. Les données collectées antérieurement ont été prises en compte comme données bibliographiques.

L'Andra a mandaté plusieurs associations et bureaux d'études spécialisés en vue d'obtenir la caractérisation de l'état initial du milieu naturel sur l'aire d'étude immédiate du projet global Cigéo. La liste des prestataires qualifiés qui sont intervenus est présentée dans le volume I de la présente étude d'impact. Les groupes biologiques

[27] https://www.faune-lorraine.org/.

inventoriés sont : les insectes, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux, les mammifères (y compris les chiroptères), les mollusques et les poissons.

Afin de garantir, dans le diagnostic écologique, les données naturalistes les plus robustes possibles, les inventaires sont renouvelés tous les deux ans, en tenant compte de l'écologie des espèces et des périodes propices aux observations.

Les tableau 6-1 et tableau 6-2 mettent en évidence, le pourcentage de passages d'inventaires réalisés dans des conditions météorologiques favorables. En effet, certains groupes sont plus sensibles aux variations des conditions météorologiques (insectes/reptiles), ce qui peut engendrer des modifications de leur activité et donc des difficultés à les repérer lors des inventaires.

Tableau 6-1 *Efficacité des inventaires sur la période 2015-2020 selon le groupe faunistique ciblé pour le centre de stockage Cigéo*

Groupe cible	Nombre de jours d'inventaires sur la période 2015-2020	Pourcentage des inventaires réalisés dans des conditions favorables
Insectes	52	80 %
Amphibiens	72	93 %
Reptiles	81	80 %
Oiseaux	274	88 %
Mammifères	172	91 %
Chiroptères	72	94 %

Tableau 6-2 *Efficacité des inventaires réalisés sur l'année 2018 selon le groupe faunistique ciblé pour la ligne 027000*

Groupe cible	Nombre de jours d'inventaires (en 2018)	Pourcentage des inventaires réalisés dans des conditions favorables
Insectes	18	94 %
Amphibiens	8	100 %
Reptiles	20	95 %
Oiseaux	155	100 %
Mammifères	101	100 %
Chiroptères	12	92 %

Les tableau 6-3 à tableau 6-6 présentent les périodes de prospection mises en œuvre. Pour chaque groupe, plusieurs passages ont été réalisés, en privilégiant les périodes les plus propices pour la réalisation des inventaires de terrain (indiquées sur la figure 6-1). Les inventaires ont été réalisés sur un cycle biologique complet, permettant d'observer les espèces aux différents stades de leur développement : floraison, reproduction, croissance des jeunes, migration, hivernage… Ces tableaux mettent en évidence, la périodicité et l'adéquation des périodes de prospections aux cycles de vie des différents groupes taxonomiques.

Compte tenu du nombre très important de jours consacrés aux relevés de terrain, le détail des jours d'interventions et les conditions météorologiques sont présentés en annexe 7 du présent volume.

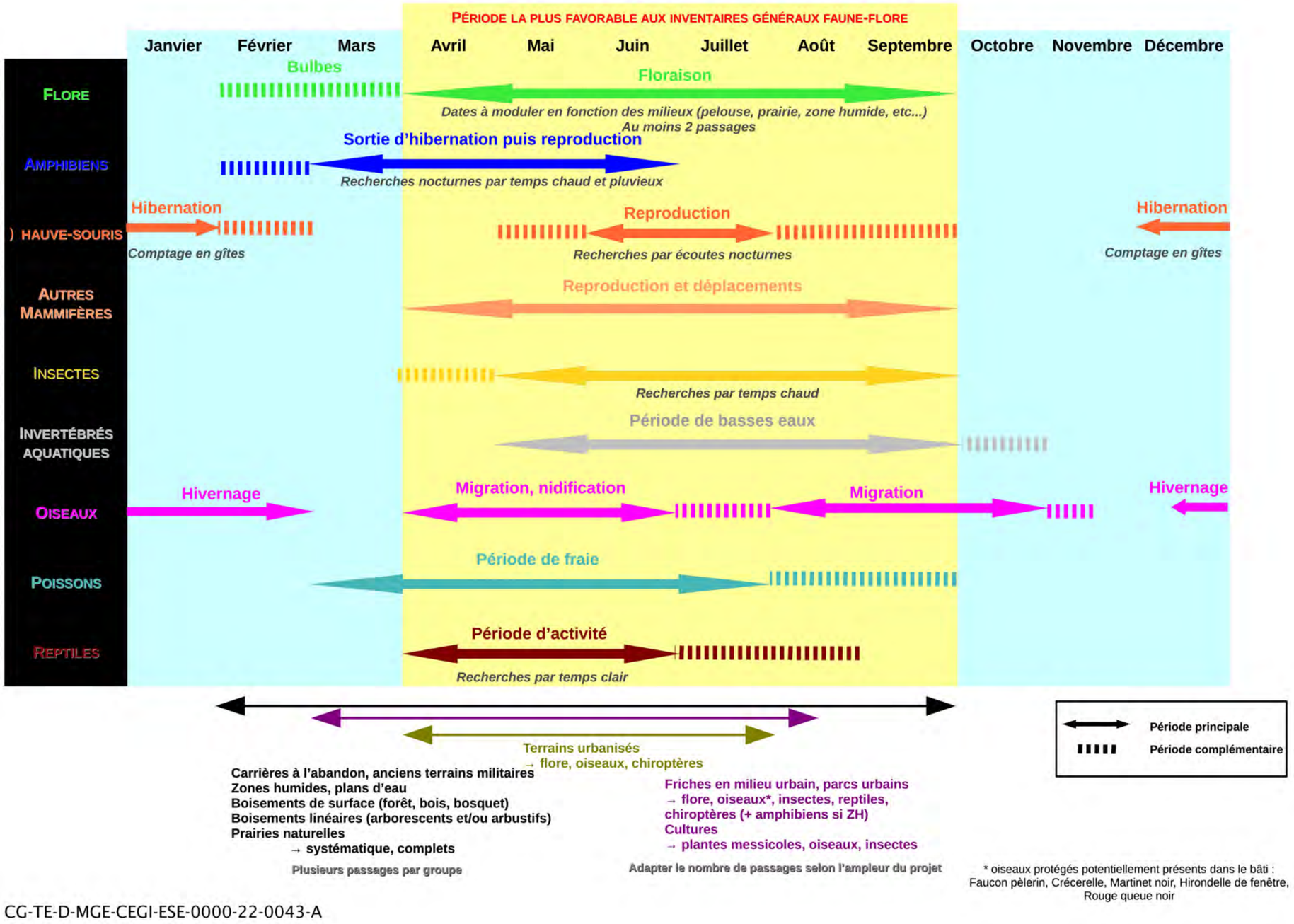
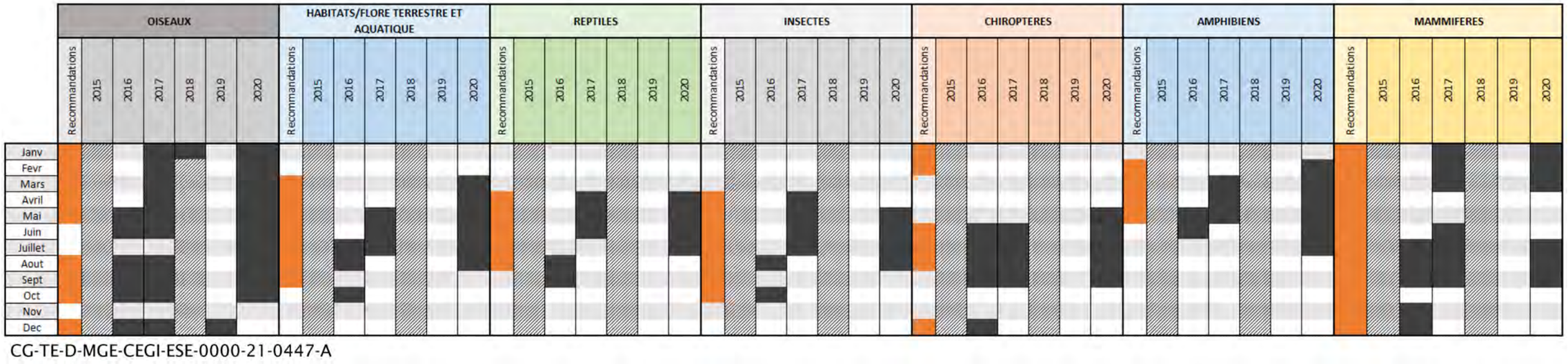


Figure 6-1 *Calendrier des périodes les plus favorables aux inventaires faune/flore (Source : DRIEE)*

Tableau 6-3 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour la zone descenderie et opérations attenantes



La colonne libellée « recommandations » en orange identifie pour chaque groupe les périodes les plus propices pour la réalisation des inventaires de terrain.

Tableau 6-4 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour la zone puits

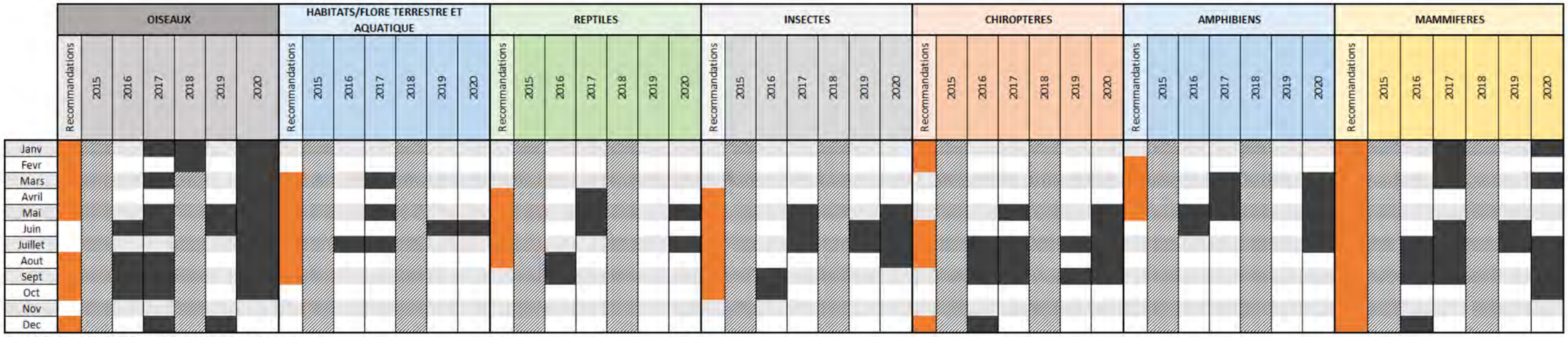
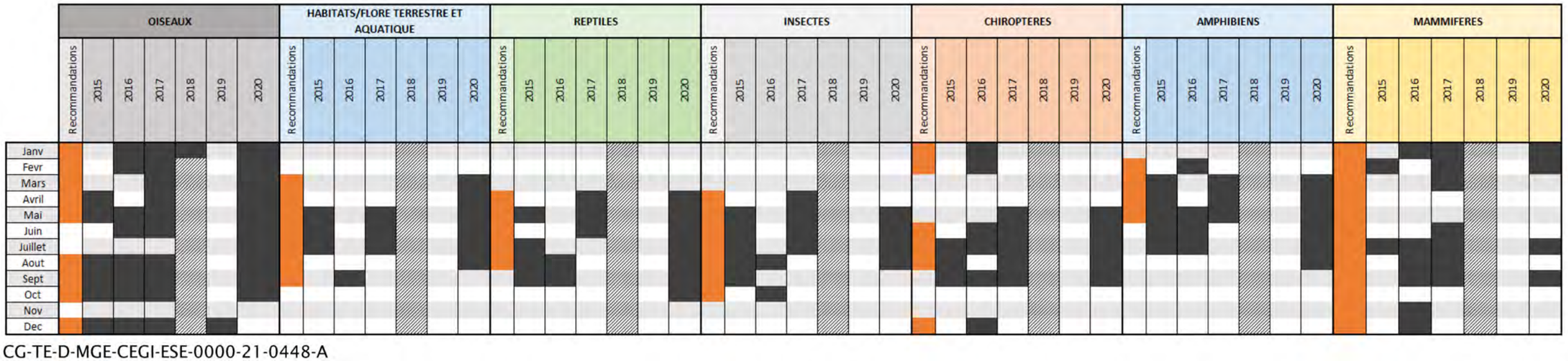
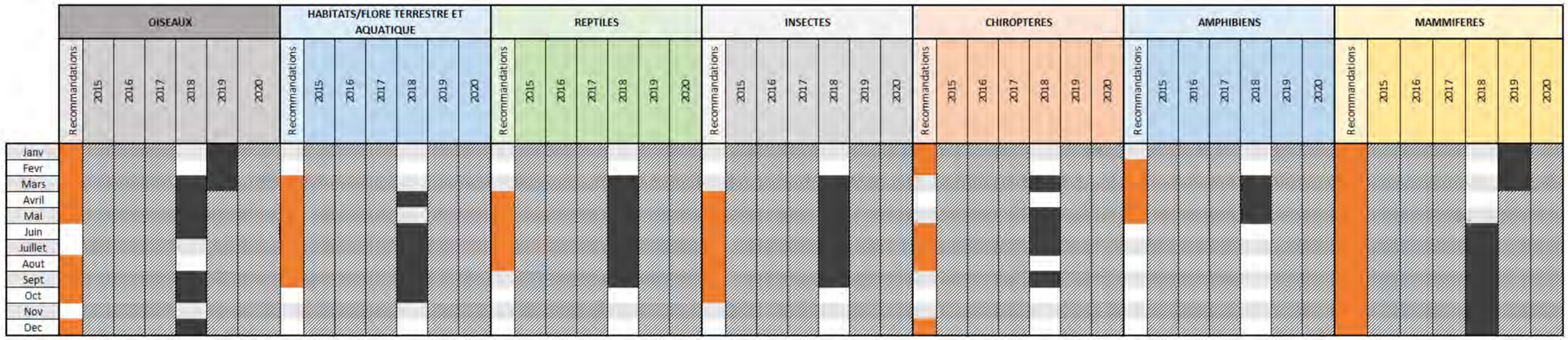


Tableau 6-5 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour l'ITE



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-21-0448-A

Tableau 6-6 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour la ligne 027000



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-21-0449-A

Pour les inventaires poissons et mollusques plusieurs passages ont été effectués, sur un périmètre inclus dans l'aire d'étude éloignée.

Pour les mollusques, la phase de terrain s'est déroulée du 24 au 29 septembre 2020.

Pour les poissons, des pêches électriques ont été réalisées dans les principaux cours d'eau de l'aire d'étude éloignée de 2017 à 2020, ainsi qu'une recherche des zones de frayères (juin 2017 à janvier 2018 et janvier 2020).

Pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage, RTE a fait réaliser une étude faune-flore sur l'aire d'étude des raccordements électriques, pour la période allant de juillet 2016 à août 2017. Cette étude a concerné les groupes suivants : flore, insectes, reptiles, oiseaux et chiroptères.

Des prospections de terrain ont également été menées de juillet à septembre 2017 le long de la ligne 400 kV Houdreville-Méry, afin d'identifier les sensibilités écologiques, puis au printemps 2019 (cinq passages en mai et juin) afin d'identifier les oiseaux nicheurs dans les zones sensibles. Ces prospections ont été complétées en avril 2021 par le passage d'un écologue au niveau des accès pressentis et des emprises de pylônes concernées par des renforcements de structures et/ou de fondations (sites Natura 2000 de la forêt de Gondrecourt et de la Vallée de la Meuse).

Le long de la ligne ferroviaire 027000, des inventaires de terrain ont été menés de mars 2018 à mars 2019, afin de couvrir un cycle biologique complet (cf. Tableau 6-3). Sur cette même période, des compléments d'inventaires ont également été réalisés afin de couvrir l'ensemble de l'aire d'étude des variantes de localisation pour la déviation de la route départementale D60/960 (cf. Figure 6-3).

Le détail des passages et des conditions d'observation pour les raccordements électriques, la ligne 400 kV et le long de la ligne ferroviaire 027000 est précisé en annexe 7 du présent volume.

La carte suivante (cf. Figure 6-3) présente la localisation des aires d'étude et des zones où les inventaires ont été réalisés (hors ligne 400 kV).

Sur l'aire d'étude éloignée, comme précisé au chapitre 6.1.1 du présent volume, tous les zonages du milieu naturel présents ont été recensés.

Les inventaires de terrain ont été menés sur l'aire d'étude immédiate (hors poissons et mollusques). La pression d'inventaire est identique pour l'ensemble de l'aire d'étude immédiate (zone puits, zone descenderie et opérations attenantes, installation terminale embranchée et ligne ferroviaire 027000).

Lors des inventaires 2019-2020, le périmètre retenu a été agrandi par rapport aux inventaires de 2016-2017, afin d'intégrer les autres maîtres d'ouvrage et correspond ainsi à l'aire d'étude immédiate associée au centre de stockage Cigéo (cf. Figure 6-3).

La cartographie complète des habitats a été réalisée sur l'aire d'étude immédiate du centre de stockage Cigéo et de la ligne ferroviaire 027000 (500 mètres de part et d'autre de l'opération). Les inventaires de la flore et de la faune ont été réalisés de manière systématique sur les emprises des installations et élargis sur l'ensemble de l'aire immédiate en fonction des habitats d'intérêts présents pour chaque groupe.

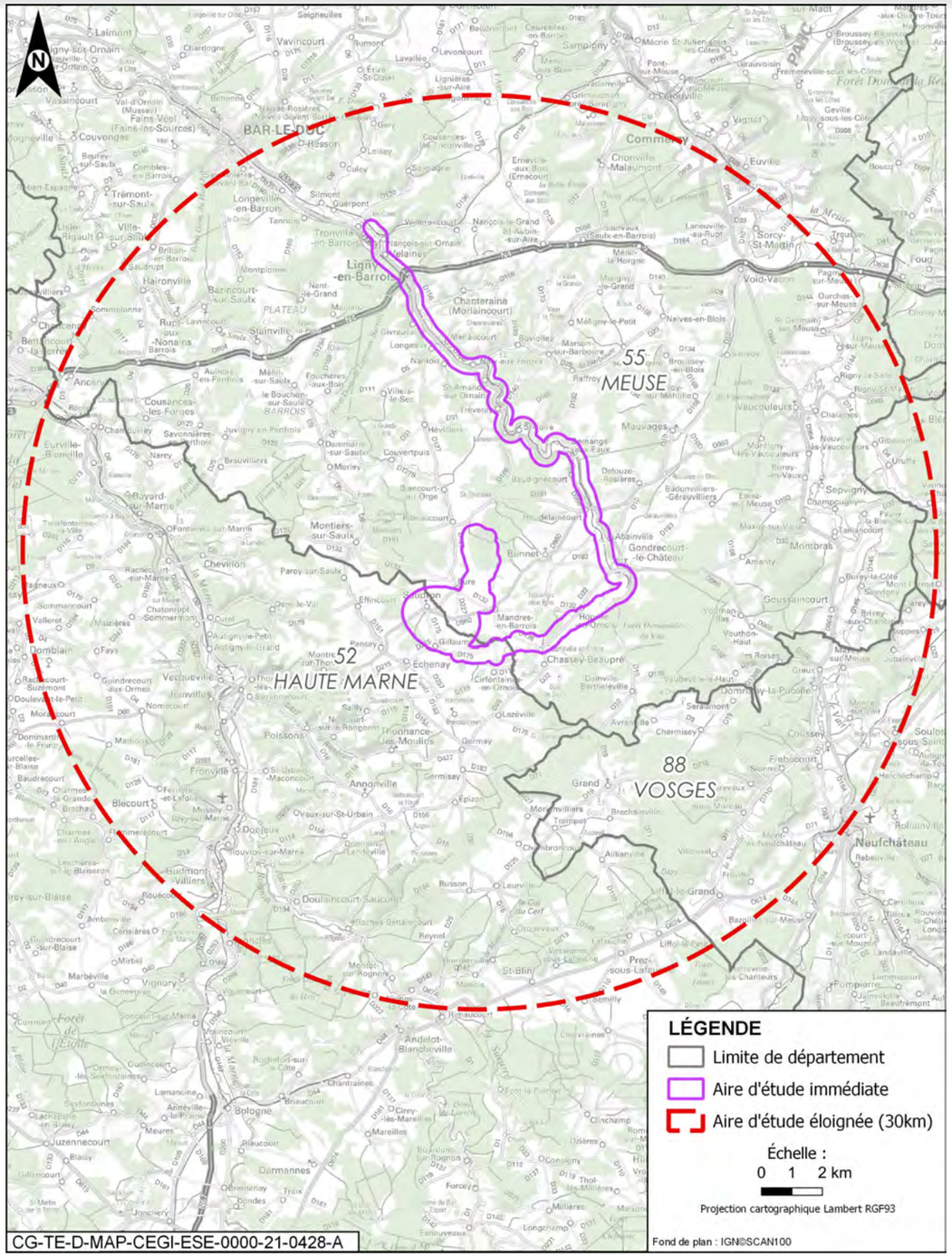


Figure 6-2 Aires d'étude éloignée et immédiate spécifiques à la biodiversité et au milieu naturel

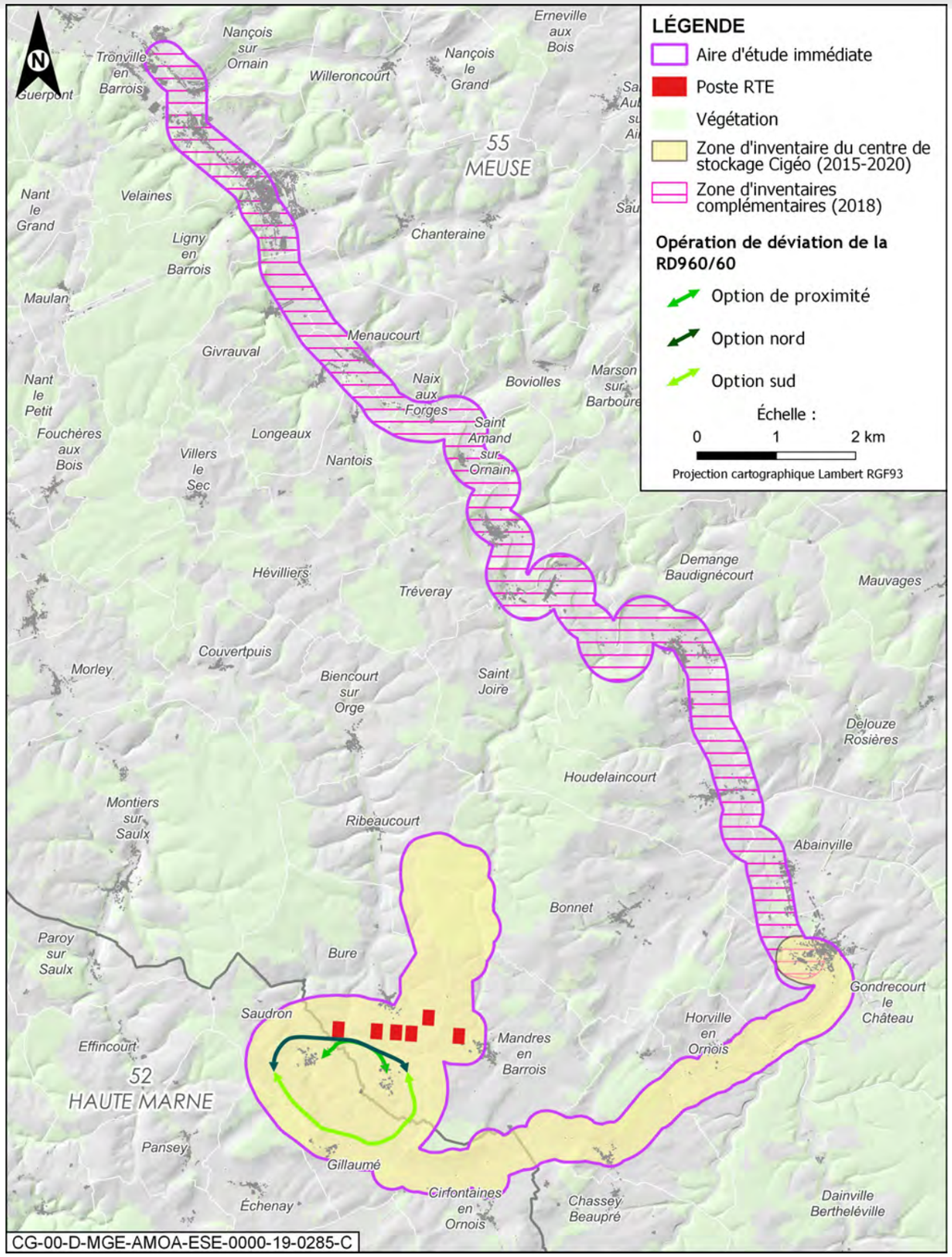


Figure 6-3 Localisation des zones d'inventaires sur le milieu naturel

6.1.3 Inventaires des habitats et de la flore

6.1.3.1 Méthodologie pour l'étude des habitats terrestres

Plusieurs passages d'écologues ont été réalisés entre le début du printemps et la fin de l'été (cf. Chapitre 6.1.2.2 du présent volume).

Pour l'établissement de l'état initial des habitats et de la flore, plusieurs types de relevés sont mis en œuvre :

- le **relevé phytocénotique (simple de végétation)** qui consiste à dresser une liste de végétation sans tenir compte de l'abondance des espèces. Le relevé simple de végétation apporte peu d'informations quant à la relation existante entre la végétation et les facteurs du milieu. Pour chaque unité de végétation[28] observée l'inventaire s'est fait en plein (inventaire exhaustif de l'unité) hormis pour une partie des végétations préforesières, prairiales, forestières et pour les cultures pour lesquelles la trop grande superficie de ces habitats a nécessité un inventaire par échantillonnage ;
- le **relevé phytosociologique** qui consiste à répertorier l'ensemble des espèces présentes au sein d'une aire minimale définie, afin de définir plus précisément certains habitats pour évaluer au mieux leurs états conservation et définir leurs niveaux d'enjeux écologiques. À chaque espèce est ensuite attribué un coefficient d'abondance-dominance en fonction de sa proportion relative et de la surface qu'elle occupe. L'utilisation de la phytosociologie permet d'obtenir des informations sur les facteurs écologiques du milieu (édaphiques – c'est-à-dire qui concerne le sol, climatiques, anthropiques).

L'analyse de l'ensemble des relevés a permis d'identifier les habitats naturels et semi-naturels, suivant les typologies CORINE biotopes et Eunis. Chaque habitat a ensuite été cartographié à une échelle adaptée en fonction de la complexité du milieu.

Les observations permettent également d'apprécier l'état de conservation des habitats patrimoniaux. Celui-ci prend en compte la composition, la rareté, la diversité et le niveau d'artificialisation des groupements végétaux présents et est basé en partie sur les travaux de Carnino (2009) (114) qui utilise l'état de la structure et de la fonctionnalité de l'habitat, ainsi que les atteintes portées à l'habitat.

Les habitats d'intérêt communautaire sont décrits à l'aide des cahiers d'habitats Natura 2000.

Les habitats relevés ont par la suite été regroupés en 26 grandes catégories d'habitats qui sont présentées à l'annexe 8.1 du présent volume.

6.1.3.2 Méthodologie pour l'étude de la flore terrestre

Plusieurs passages d'écologues ont été réalisés entre le début du printemps et la fin de l'été (cf. Chapitre 6.1.2.2 du présent volume), afin de pouvoir observer les espèces végétales des plus précoces aux plus tardives. Les relevés sont effectués à pied, en mettant l'accent sur les potentiels habitats à enjeu prédéterminés.

Une attention particulière est portée à la recherche d'espèces protégées, patrimoniales ou déterminantes de zone humide.

Les stations des espèces exotiques envahissantes sont systématiquement relevées. Ce sont les espèces introduites en dehors de leur territoire d'origine, naturalisées, dont la prolifération crée des dommages aux écosystèmes naturels ou semi-naturels (CBN Bassin Parisien, 2016 (115)).

Les textes officiels ou listes d'espèces utilisés permettant de déterminer le caractère protégé ou la patrimonialité d'une espèce sont les suivants :

- la directive européenne Habitats/Faune/Flore du 21 mai 1992 (116), modifiée par la directive 2006/105/CE du conseil du 20 novembre 2006 (117), concernant la conservation des habitats naturels, ainsi que de la faune et de la flore sauvages (l'annexe II fixe les espèces d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la

[28] L'unité de végétation est définie comme un ensemble végétal possédant une composition floristique, une écologie, une phénologie... propres, nettement discernables au sein du reste de la végétation.

désignation de zones spéciales de conservation ; l'annexe IV définit les espèces qui nécessitent une protection stricte) ;

- l'arrêté du 20 janvier 1982 (118) modifié relatif à la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire national ;
- l'arrêté du 3 janvier 1994 (119) précisant la liste des espèces végétales protégées en Lorraine complétant la liste nationale ;
- l'arrêté du 8 février 1988 (120) modifié fixant la liste des espèces végétales protégées en région Champagne-Ardenne, complétant la liste nationale ;
- la liste rouge de la flore vasculaire de Champagne-Ardenne (2019 (121)) ;
- la liste rouge de la flore vasculaire de Lorraine (2015 (122)) ;
- la liste des espèces déterminantes de Lorraine (DREAL, Floragis, 2015 (123)) ;
- la liste des plantes exotiques envahissantes (CBNBP, 2018 (124)).

6.1.4 Inventaires de la faune

6.1.4.1 Protocoles d'observation des insectes

Plusieurs passages ont été effectués d'avril à septembre-octobre et sur plusieurs années, afin de couvrir les périodes favorables aux insectes (cf. Chapitre 6.1.2.2 du présent volume).

Le groupe des insectes étant compliqué à étudier dans son ensemble, les inventaires ont ciblé quatre taxons :

- les lépidoptères rhopalocères (papillons de jour) ;
- les coléoptères carabidés et saproxyliques (espèces associées au bois mort recherchées dans les zones boisées) ;
- les odonates (les libellules et les demoiselles).

Ce choix se justifie par le fait que certaines espèces de ces groupes sont protégées, ce qui n'est pas le cas de tous les groupes, en particulier des orthoptères. Cependant, même s'ils ne font pas l'objet de recherches spécifiques, les espèces remarquables des autres groupes (orthoptères, diptères…) qui ont pu être observées lors des inventaires de terrain ont été listées et prises en compte.

Les prospections ont été menées pour évaluer la diversité des insectes présents. Il s'agit essentiellement de prospections à vue et capture au filet avec relâché immédiat sur place pour les espèces à détermination plus complexe. Quelques pièges PIMUL (pièges d'interception aériens pour les insectes volants) ont également été utilisés, ainsi que des pièges colorés qui attirent les insectes et permettent de les collecter dans un liquide conservateur pour détermination ultérieure.

Comme pour les autres groupes, les prospections ont été menées avec des conditions météorologiques favorables : pas de précipitation, ni vent fort et température douce (supérieure à 12 °C).

Les figure 6-4 et figure 6-5 présentent la localisation des pièges entomologiques.

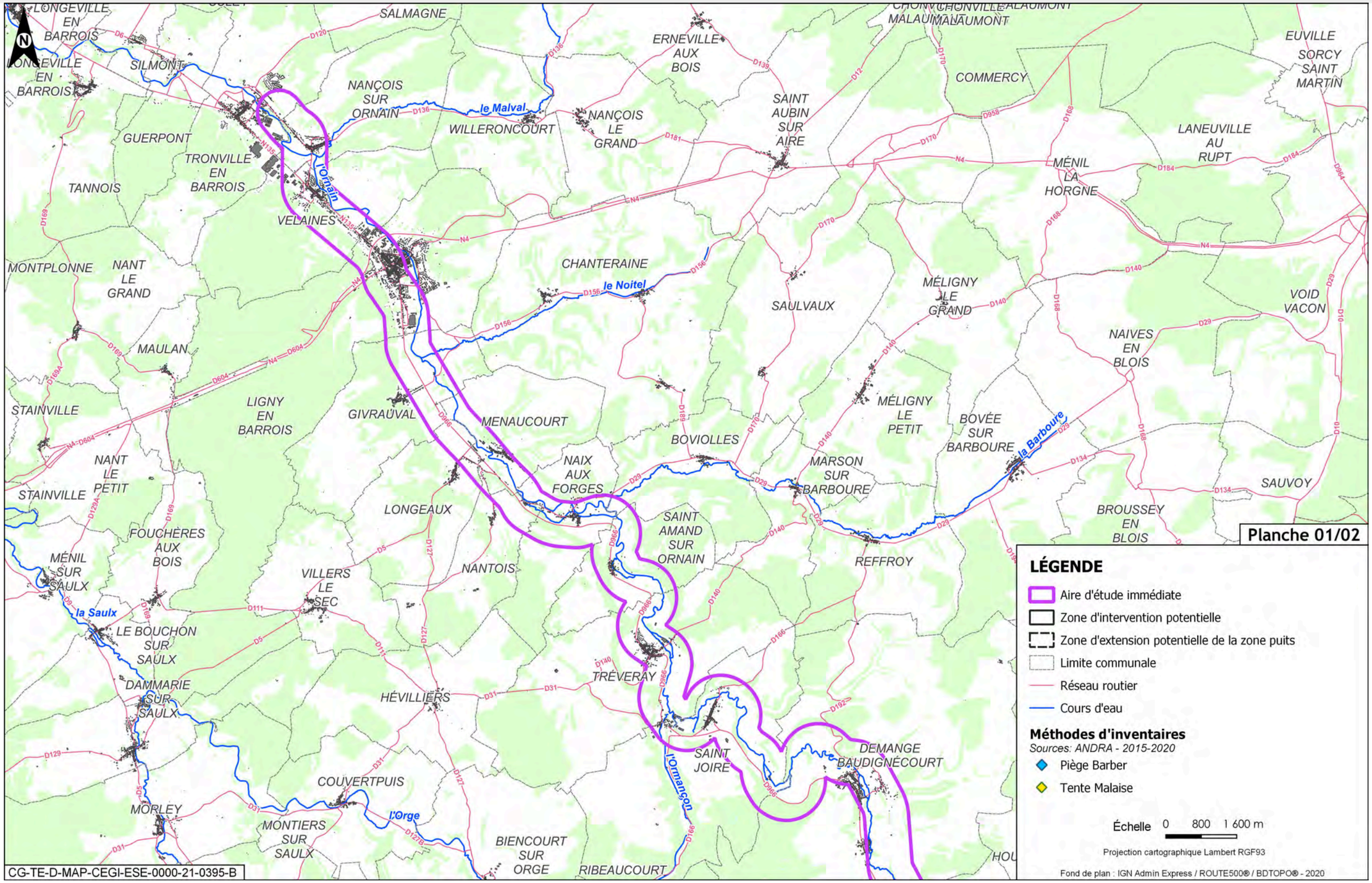


Figure 6-4 Localisation des inventaires entomologiques – 1/2

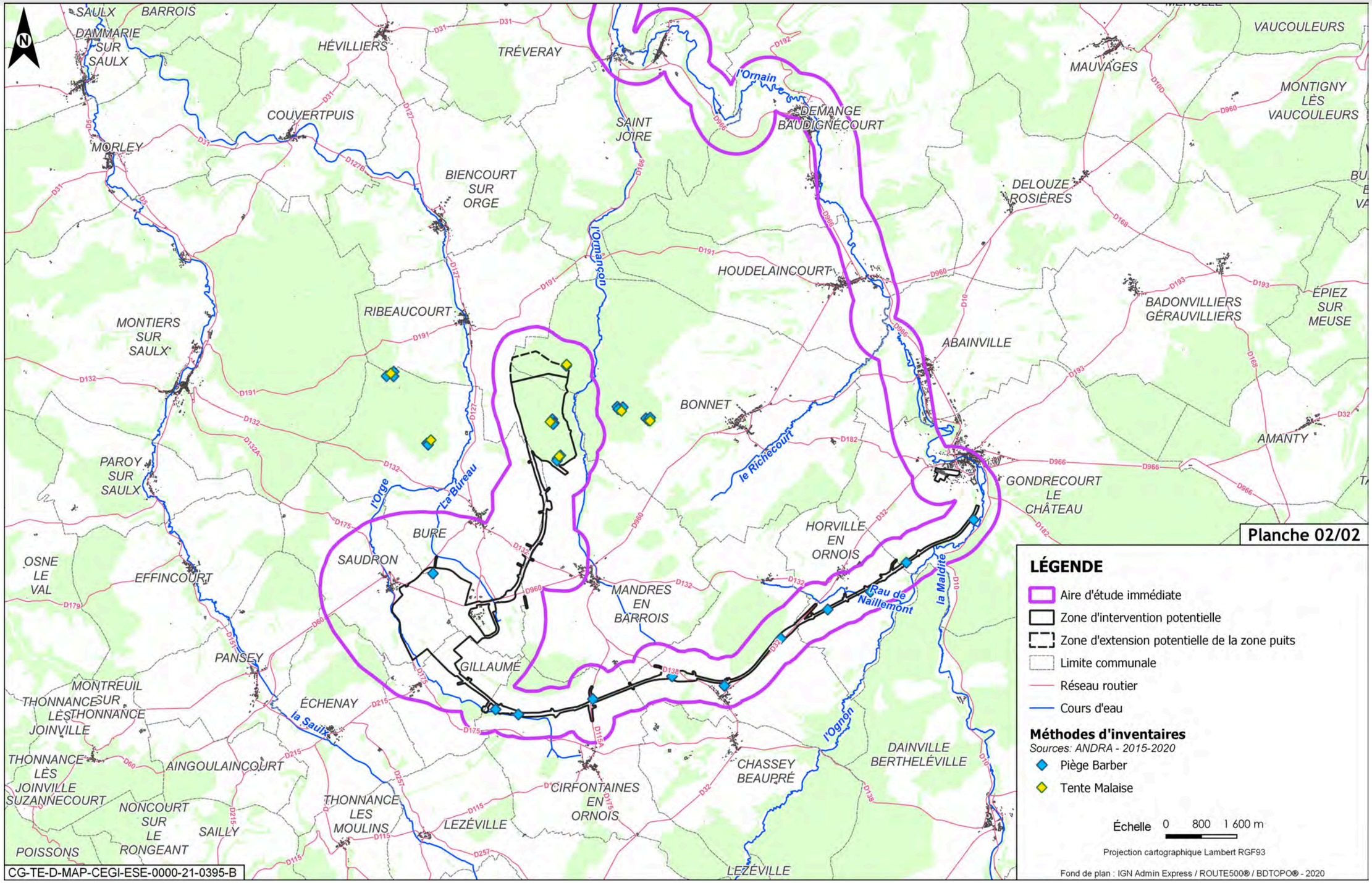


Figure 6-5 Localisation des inventaires entomologiques – 2/2

6.1.4.2 Protocoles d'observation des amphibiens

Plusieurs passages ont été effectués à des saisons différentes et sur plusieurs années, afin de couvrir toutes les périodes d'activités des amphibiens (cf. Chapitre 6.1.2.2 du présent volume).

Deux types de recherches ont été mises en œuvre en vue de caractériser l'état initial des populations d'amphibiens, à savoir :

- la recherche des sites de reproduction et l'inventaire des espèces ;
- la recherche des voies de migrations prénuptiales par la réalisation de parcours pédestres à proximité des habitats fréquentés préférentiellement par les amphibiens.

Lors des recherches à vue, un repérage est effectué de jour, afin d'identifier les habitats favorables au stationnement, à la reproduction et aux passages d'amphibiens. Une expertise des habitats et micro-habitats localisés est ensuite réalisée au cours des phases d'activité les plus propices aux espèces. Lors de chaque passage, l'ensemble des zones en eau du site et de sa périphérie sont visitées (étang, mares, ruisseau, fossés…), ainsi que tout habitat favorable. Les individus y sont recherchés à vue et au chant. Les pontes et les larves ont fait également l'objet de recherches approfondies. Dans la mesure du possible, les amphibiens ou leurs pontes ont fait l'objet de comptages individuels. Les individus contactés, ainsi que les stations de reproduction découvertes ont été cartographiées. Une caractérisation des points d'eau a également été réalisée.

Pour la recherche des voies de migration, des prospections spécifiques ont été réalisées en voiture et à vitesse réduite, sur les infrastructures routières situées sur l'aire d'étude immédiate ou à proximité, de manière à localiser toutes les voies migratoires et d'éventuels phénomènes de mortalité liés à la circulation. Le suivi du passage migratoire prénuptial par rapport au postnuptial permet une caractérisation plus précise de la fréquentation d'un secteur par les amphibiens. Au printemps, la migration est nettement plus concentrée dans le temps et l'espace. En effet à cette saison, les individus adultes rejoignent directement leurs sites de reproduction dès que les conditions météorologiques leur sont favorables. Les inventaires ont été menés lors de la période la plus adaptée (début mars à début mai) et lors de conditions météorologiques favorables (premières nuits tempérées et humides suivant un épisode froid et plutôt sec).

Afin d'optimiser le taux de détectabilité des individus, ces inventaires ont principalement été réalisés en milieux ouverts (chemins, routes, talus et fossés ras…) et à proximité des habitats préférentiellement fréquentés (boisements et forêts en phase terrestre ; cours d'eau, mares, étangs… en phase aquatique). Pour chaque site, le suivi a consisté à relever l'espèce, le nombre d'individus, l'état de santé particulièrement au niveau des voies routières (vivant, blessé, mort…).

Les prospections ont été menées dans des conditions météorologiques favorables, soit : températures supérieures à 8 °C, absence de vent ou vent faible et pluie modérée le jour de prospection ou les jours précédents.

6.1.4.3 Protocoles d'observation des reptiles

Plusieurs passages ont été effectués sur plusieurs années, afin de couvrir les périodes favorables aux reptiles (cf. Chapitre.6.1.2.2 du présent volume).

En vue de réaliser le diagnostic des populations de reptiles, deux types de méthodologies ont été mises en œuvre :

- des relevés à vue par le parcours de transects sur des zones propices à l'insolation et sur des zones refuges (pierres, tas de bois…). Les éléments sont soulevés et remis en place ;
- des relevés sous plaques disposées d'avril à septembre sur des zones propices.

Les prospections à vue ciblent les sites et milieux favorables aux reptiles comme les talus herbeux, pierriers, lisières bien exposées, murets, voies ferrées. Elles sont réalisées à pied à une allure réduite, en portant le regard à 1 mètre devant et sur un périmètre d'environ 1,50 mètre autour de l'observateur. L'observateur utilise des jumelles à mise au point rapprochée et est attentif au moindre bruissement dans la végétation car cela permet également la détection (voire l'identification) des reptiles.

La méthode des « plaques refuges » ou « abris artificiels » qui a également été utilisée, consiste à déposer à même le sol de grands objets plats de nature diverse, légèrement surélevées à l'aide de branches et de pierres afin de laisser un espace interstitiel pour que les reptiles puissent s'y glisser (cf. Figure 6-6).

Ces plaques sont disposées dans des sites potentiellement favorables aux reptiles, telles que les lisières, friches, clairières, bordures de haies, et permettent généralement des observations dans des conditions où les animaux ne sont habituellement plus observés à découvert. L'attrait des reptiles pour les plaques refuges réside dans l'apport d'un abri contre les prédateurs en même temps qu'un moyen d'assurer la thermorégulation. Certaines espèces trouvent également sous ces abris de quoi se nourrir, les micromammifères élisant souvent domicile sous ces plaques. Cette méthode des plaques refuges est surtout efficace pour les serpents et l'Orvet fragile *(Anguis fragilis)*, mais l'est beaucoup moins pour les lézards. Ces derniers peuvent cependant s'exposer directement sur la plaque (et non dessous) et ainsi se rendre plus facilement observables. À noter que les abords de voies ferrées (désaffectées ou non) sont également des habitats assez prisés par les reptiles. La plupart des reptiles marque une nette préférence pour les postes d'insolation exposés au sud. Une exposition sud-est et sud-ouest est renseignée pour le Lézard des murailles *(Podarcis muralis)* et la Coronelle lisse *(Coronella austriaca)*. Une attention toute particulière a donc été portée sur ce point lors du positionnement des plaques refuges.

Les figure 6-7 et figure 6-8 présentent la localisation des plaques des reptiles.



Figure 6-6 Exemple de plaque refuge (source Egis)

Pour cette étude, les plaques refuges sont constituées de caoutchouc noir relativement souple, ce qui procure un triple avantage : elles accumulent rapidement la chaleur (si elles sont bien exposées au rayonnement solaire), la conservent pour la restituer au cours de la journée et procurent un abri sec pour les reptiles. Les dimensions de ces abris artificiels sont d'environ 80 cm de côté soit 0,64 m².

Chaque plaque est lentement et délicatement soulevée afin d'y détecter les reptiles et l'observateur inspecte minutieusement le sol à l'emplacement de la plaque. Certains individus peuvent en effet être partiellement cachés dans la végétation séchée sous la plaque. Celle-ci est ensuite délicatement repositionnée. Le risque d'écrasement d'individu est faible, les animaux ayant généralement fui lorsque la plaque a été soulevée.

Plus de 180 plaques au total ont été posées sur l'aire d'étude immédiate du centre de stockage : 13 sur la zone puits, 17 sur la zone descenderie, 7 sur la liaison intersites, 68 sur l'installation terminale embranchée et 79 sur la ligne ferroviaire 027000.

Les individus sont recherchés de jour et par temps ensoleillé (température comprise de préférence entre 11 °C et 19 °C, sans vent). Les matinées ne rassemblant pas ces conditions sont exclues.

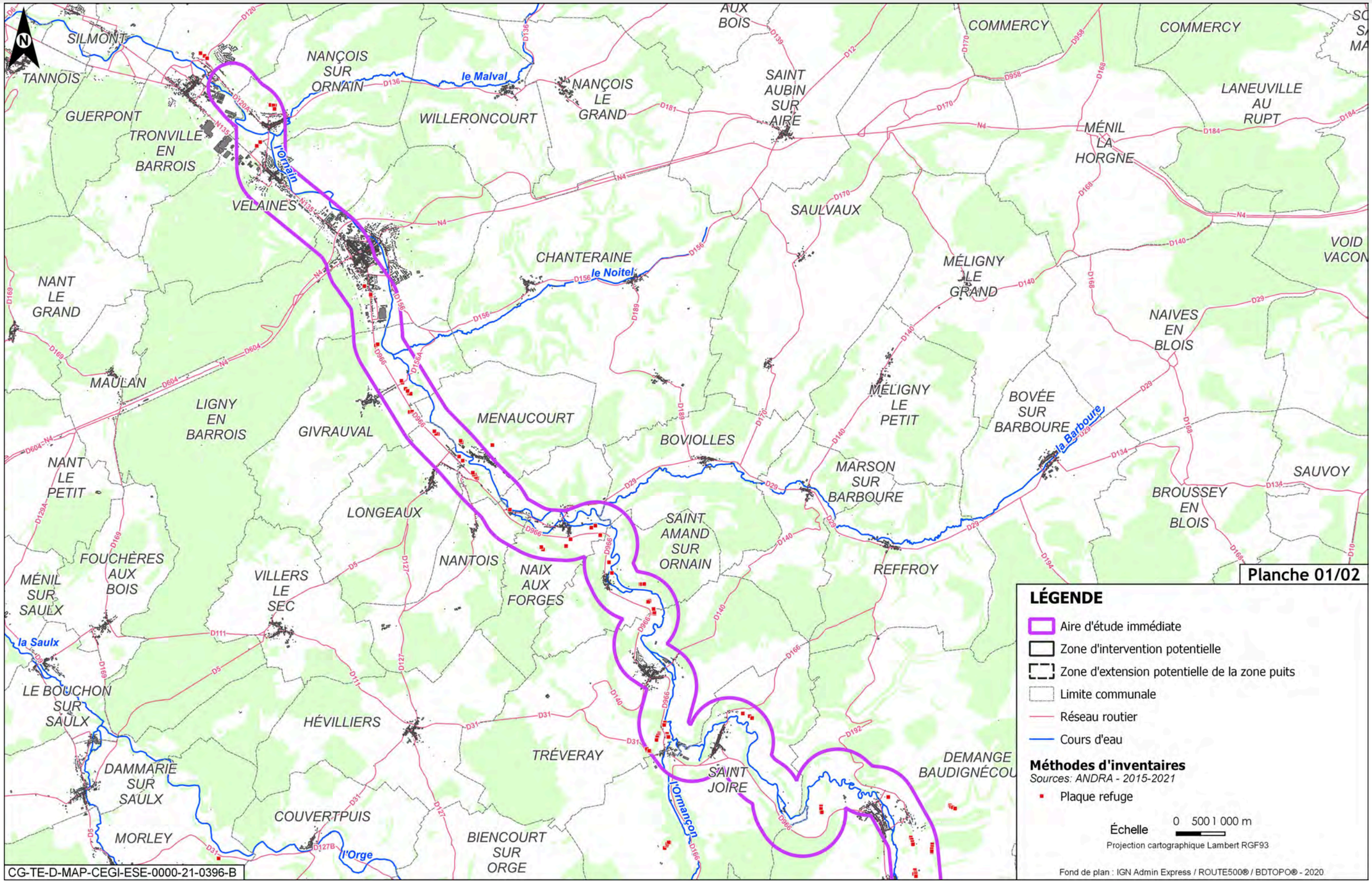


Figure 6-7 Localisation des inventaires des reptiles – 1/2

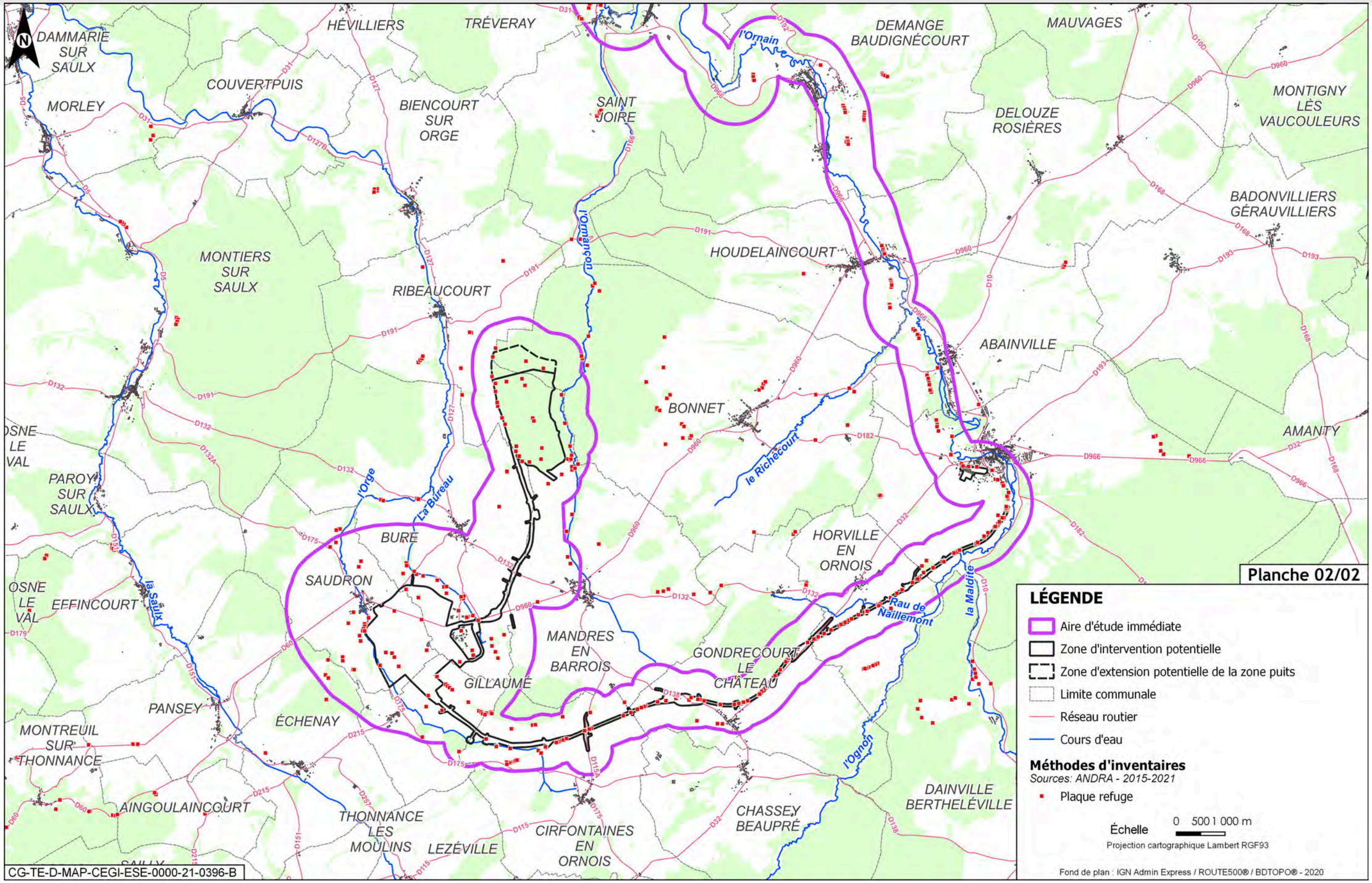


Figure 6-8 Localisation des inventaires des reptiles – 2/2

6.1.4.4 Protocoles d'observation des oiseaux (avifaune)

Les prospections ont été menées à différentes périodes et sur plusieurs années (cf. Chapitre 6.1.2.2 du présent volume), afin de caractériser :

- l'avifaune nicheuse diurne et nocturne pour lesquelles les inventaires sont respectivement basés sur une série de parcours pédestres aux premières heures de la journée et la réalisation de points d'écoute d'une dizaine de minutes après la tombée de la nuit ;
- l'avifaune migratrice par des séances d'observation fixes et mobiles au cours des périodes prénuptiales et postnuptiales ;
- l'avifaune hivernante par des séances mobiles d'observation effectuées en journée (de début décembre à fin février).

6.1.4.4.1 Avifaune nicheuse

L'étude de l'avifaune nicheuse diurne repose sur une série de parcours pédestres (allure moyenne de l'ordre de 2 km/heure). Les relevés ont été effectués le matin pour l'essentiel, au cours de trois passages réalisés de mars à juin. Ces trois passages ont permis d'appréhender à la fois les nicheurs précoces et les nicheurs tardifs. Au cours de ces prospections, tout repérage d'individus à vue et/ou à l'ouïe a été noté.

Le mode opératoire s'apparente à la méthode des quadrats, tous les contacts ont été notés le long de trajets couvrant aires d'étude immédiate. Une valeur d'un est attribuée aux oiseaux manifestant un comportement évident de reproduction (chant, nourrissage, ...) et de 0,5 aux autres contacts.

Tous les repérages d'une espèce considérée comme patrimoniale ont fait l'objet d'un relevé cartographique (fond IGN au 25 000e agrandi au 5 000e environ) ou à l'aide d'un GPS. Une attention particulière a été portée aux espèces patrimoniales inféodées aux haies et bosquets telles que les pies grièches. Pour chaque espèce, le statut nicheur (certain, probable ou possible) a été précisé.

Concernant l'avifaune nicheuse nocturne, les espèces concernées sont relativement peu nombreuses mais la plupart présentent un intérêt patrimonial (espèce de l'annexe 1 de la directive oiseaux, liste rouge nationale, déterminantes ZNIEFF). Il s'agit en particulier de la plupart des rapaces nocturnes (Grand-duc d'Europe, Chevêche d'Athéna...), mais également d'autres espèces comme l'engoulevent d'Europe.

Afin de bien apprécier la présence des rapaces nocturnes sur la zone d'étude, un point d'écoute a été réalisé tous les kilomètres de tracé. Pour la plupart des espèces, à partir de la tombée de la nuit, après une écoute passive de quelques minutes, la méthode de la repasse a été utilisée. Elle consiste en la diffusion à l'aide d'un magnétophone du chant nuptial du mâle, ce qui a généralement pour conséquence de provoquer une réponse de la part de l'éventuel mâle nicheur présent. Cette méthode, si elle est efficace, n'est pas absolue et a été utilisée avec parcimonie afin de ne pas perturber les couples nicheurs, voire de provoquer l'abandon du site par les animaux.

Les prospections nocturnes ont débuté au plus tôt 30 minutes à 1 heure après le coucher du soleil et n'ont pas excédé minuit (1er passage) et une heure du matin (2e et 3e passages). Elles ont été réalisées par météo clémente (pas de pluie, peu ou pas de vent).

6.1.4.4.2 Avifaune migratrice

Aucun protocole standard n'est défini pour appréhender l'avifaune non nicheuse. La méthode suivie a consisté, pour le suivi de la migration prénuptiale, en des séances mobiles d'observation, sous forme de parcours pédestres, effectuées en journée. Des séances fixes d'observation ont également été réalisées sur au moins deux points répartis sur la zone d'étude.

Un accent particulier a été mis sur la recherche des espèces patrimoniales potentiellement présentes en halte migratoire. Les oiseaux en migration active ne sont en effet pas influencés par les milieux qu'ils survolent et le passage d'espèces, même rares ou sensibles, ne présente qu'un intérêt limité pour définir la richesse biologique d'un milieu.

Afin d'être vigilant et de noter la présence de l'ensemble des oiseaux en halte migratoire, l'allure moyenne a été de l'ordre de 2 $km.h^{-1}$, sous forme d'un aller simple sur l'ensemble du tracé, couvrant ainsi une bande de 200 mètres de largeur minimum, parfois jusqu'à 500 mètres.

6.1.4.4.3 Avifaune hivernante

La méthode suivie a consisté, comme pour le suivi de l'avifaune migratrice, en des séances mobiles d'observation, sous forme de parcours pédestres à allure lente, effectuées en journée. Une attention particulière a été accordée aux oiseaux utilisant les buissons d'épines noires, telles que les turdidés (passereaux de taille moyenne à grande), qui consomment les nombreuses baies en hiver.

Afin d'être vigilant et de noter la présence de l'ensemble des oiseaux hivernants, comme pour l'avifaune migratrice, une allure moyenne de l'ordre de 2 km/heure a été adoptée, sous forme de parcours couvrant l'ensemble de l'aire d'étude immédiate.

6.1.4.5 Protocoles d'observation des mammifères (hors chiroptères)

En vue d'établir l'état initial des populations de mammifères (autres que chiroptères), des prospections ont été menées sur plusieurs années et à des saisons différentes (été/hiver) (cf. Chapitre 6.1.2.2 du présent volume), afin de prendre en compte l'ensemble des espèces en fonction de leur cycle biologique (périodes d'activités, de rut...) et de pouvoir bénéficier de l'enneigement en période hivernale.

Avant la phase d'inventaires de terrain, un premier repérage sur fond IGN et photos aériennes a été entrepris. L'étude géomorphologique, ainsi que l'étude bibliographique ont également pu apporter des informations sur les secteurs de présence potentielle et/ou avérée de mammifères à rechercher spécifiquement. Ensuite, un passage de repérage de terrain, afin d'inventorier les sites (ou secteurs) sur lesquels ont été mis en œuvre les méthodologies d'étude, en particulier les protocoles spécifiques (Campagnol amphibie, Crossope aquatique, pièges en lignes ...), selon le potentiel pressenti lors de la phase de repérage cartographique, a été effectué.

Pour l'étude des mammifères, un panel de protocoles d'études, plus ou moins spécifiques, a été mis en place lors de deux campagnes (été et hiver). Ces protocoles visent à inventorier l'ensemble des mammifères présents sur les zones d'étude mais des recherches spécifiques ont dû être menées sur les espèces protégées ou patrimoniales.

Plusieurs méthodes ont été mises en œuvre pour l'observation des mammifères :

- l'observation directe d'animaux au cours de parcours (transects) effectués de jour ;
- la recherche d'indices de présence (empreintes, déjections, terriers...) : ces recherches ont été menées *via* des parcours pédestres visant à couvrir au mieux les aires d'étude immédiate ou, au moins, les différents milieux naturels (ou biotopes) les composant, en adaptant l'intensité de prospection au type de milieu ;
- des **comptages nocturnes au phare** : cette technique permet de réaliser des observations de nuit, période d'activité principale pour un grand nombre d'espèces de mammifères. Le protocole consiste à parcourir au cours des premières heures de la nuit, en véhicule et à vitesse réduite (de l'ordre de 10 km/h à 15 km/h) des axes de circulation préalablement déterminés et traversant les différents biotopes. Pendant le déplacement du véhicule, un opérateur utilise un projecteur puissant afin d'avoir une vision correcte jusqu'à une distance de 500 mètres environ ;
- l'utilisation de **pièges photographiques** : en 2020, 16 appareils ont été posés sur l'ensemble de l'aire d'étude immédiate ;
- la **collecte de poils et fèces des micromammifères** : en 2020, 49 lignes de tubes capteurs de poils et de fèces (appâtés avec des asticots et des cacahuètes) ont été disposés sur l'ensemble de l'aire d'étude immédiate, dans divers biotopes, suivant idéalement des écotones (zones de transition écologique entre deux biotopes), généralement plus attractifs pour les micromammifères ;
- l'**analyse des ossements de micromammifères** contenus dans les pelotes de réjection des rapaces ;
- la recherche des **indices de présence par temps de neige** : outre les identifications d'espèces, cette méthode permet de repérer les axes de passages (corridors) les plus fréquentés par les mammifères de taille moyenne à grande ;
- l'analyse par identification génétique (ADNe) pour les mammifères aquatiques en milieu aquatique courant.

Des recherches spécifiques ont également été menées pour identifier des espèces patrimoniales particulièrement difficiles à observer comme les petits rongeurs suivants : le Muscardin, le Crossope aquatique (ou Musaraigne d'eau) ou le Campagnol amphibie, mais également pour le Chat forestier :

- pour le Muscardin, sont recherchés les nids et les restes de noisettes ;
- pour le Crossope aquatique, des pièges à crottes et pièges à poils ont été disposés au sol (cf. Figure 6-9), dans les milieux favorables associés aux cours d'eau locaux, à raison de 20 pièges (10 de chaque type) par site. Ces pièges sont en fait des tubes avec appât, permettant de collecter les crottes ou les poils des animaux lors de leur passage. Ils ont été maintenus sur place cinq jours puis collectés ;
- pour le Campagnol amphibie ont été recherchés les indices de présence spécifiques (crottiers essentiellement et tiges d'herbacées coupées). L'observation des crottes ne permettant pas de différencier le Campagnol amphibie (espèce protégée) de la forme aquatique du Campagnol terrestre, des analyses génétiques complémentaires ont été réalisées afin de les distinguer ;
- pour le Chat forestier, la période de rut, générant une plus grande activité, notamment chez les mâles, est privilégiée pour l'observation d'individus.



Figure 6-9 Illustration des pièges à crottes et pièges à poils (Source GREGE)

Les figure 6-10 et figure 6-11 présentent la localisation des inventaires des mammifères de 2015 à 2020.

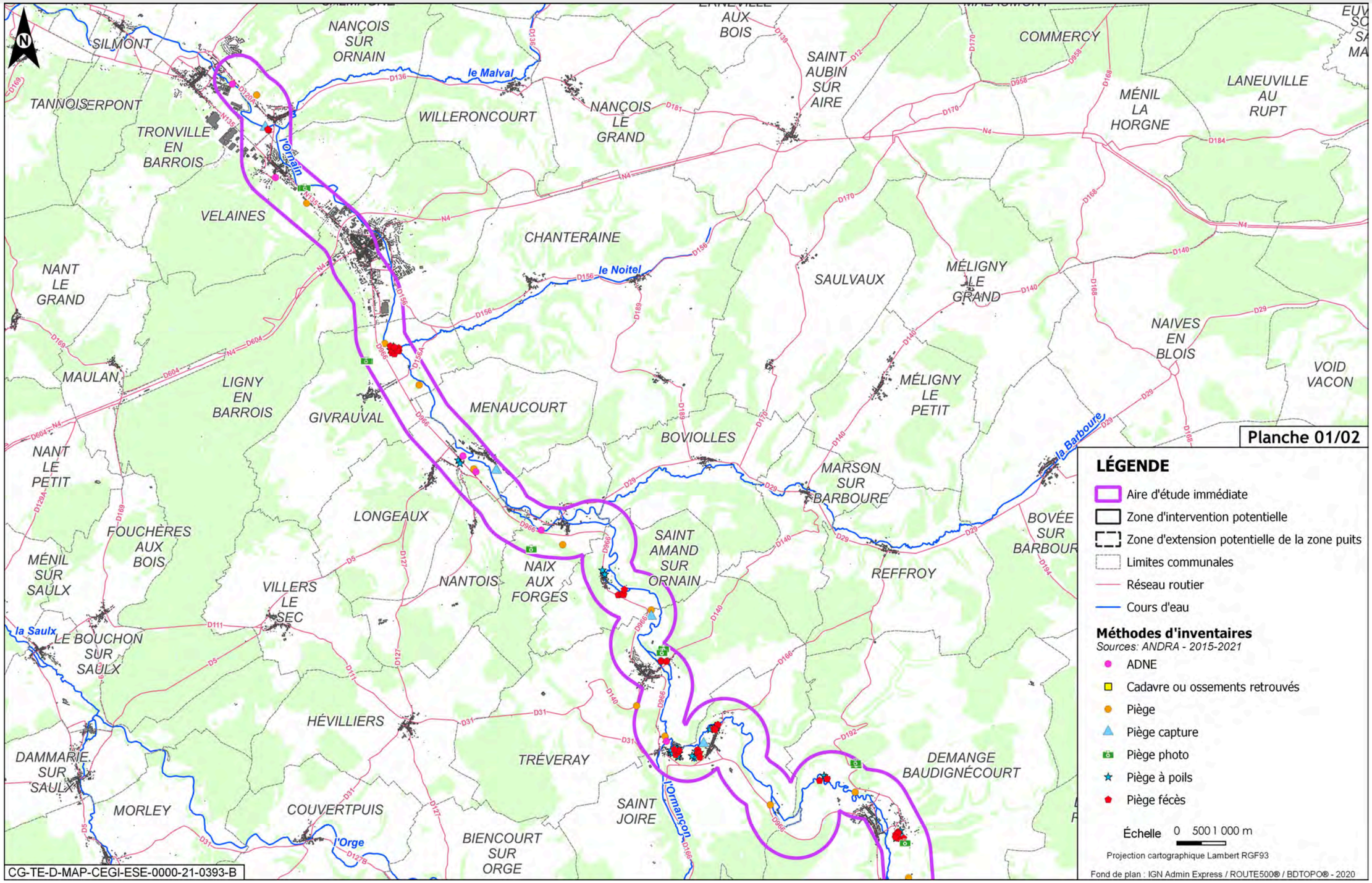


Figure 6-10 Localisation des inventaires des mammifères terrestres – 1/2

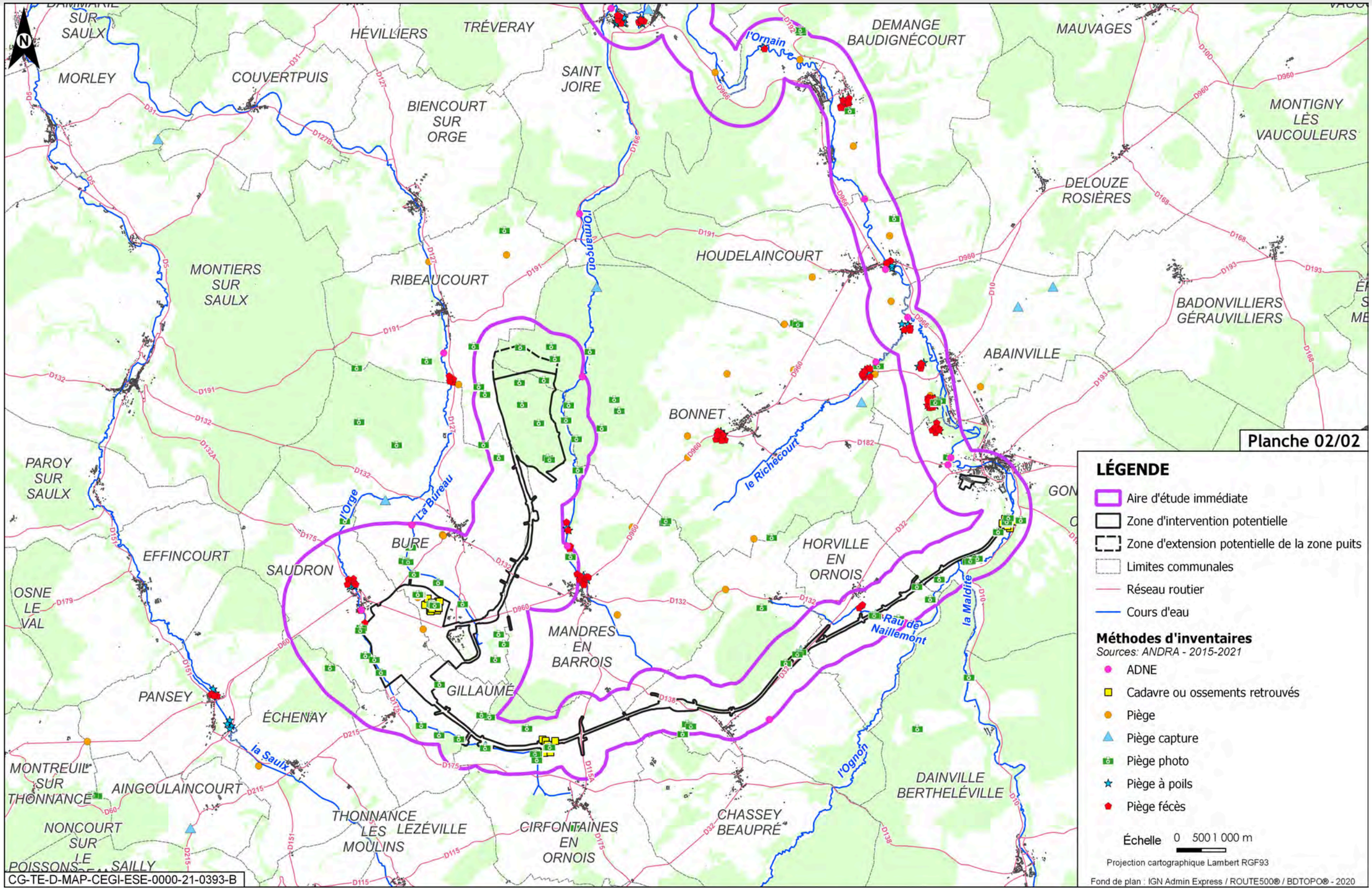


Figure 6-11 Localisation des inventaires des mammifères terrestres – 2/2

6.1.4.6 Protocoles d'écoute et de suivi des chiroptères

Plusieurs passages ont été effectués à des saisons différentes et sur plusieurs années, afin de couvrir toutes les périodes d'activités des chiroptères (cf. Chapitre 6.1.2.2 du présent volume). Le détail des dates et conditions de prospections est disponible à l'annexe 7 du présent volume.

L'objectif de ce suivi est d'établir un état initial de la diversité des populations de chiroptères au sein de l'aire d'étude du projet global, ainsi que d'évaluer les déplacements et l'étendue de leur territoire de vie à partir d'écoutes ou de recherches d'indices de présence de gîtes.

Avant la phase d'inventaire de terrain, un repérage sur fond IGN et photos aériennes a été entrepris, afin d'avoir une bonne vue d'ensemble des secteurs favorables aux chiroptères de l'aire d'étude immédiate.

En vue de réaliser le diagnostic des populations de chiroptères, deux types de méthodologies ont été mises en œuvre :

- prospection de gîtes (inventaires pied à pied en zone puits) ;
- inventaire sur terrains de chasse.

Concernant les gîtes, trois grands types sont susceptibles d'accueillir les chiroptères, en fonction des espèces, des disponibilités et de la phase du cycle biologique :

- les gîtes arboricoles (arbres creux, fissurés…) : compte tenu du très grand nombre de gîtes potentiellement utilisés dans une année par les chiroptères forestiers et de la surface importante de la zone puits notamment, un inventaire exhaustif des gîtes arboricoles n'est pas réalisable. La méthodologie consiste donc à identifier et caractériser au mieux les potentialités de l'offre en gîtes sur un massif forestier. Sur la base de la cartographie des habitats et des peuplements forestiers, des parcours (transects) aléatoires sont réalisés dans les zones considérées comme les plus favorables. Sont relevés systématiquement les arbres pouvant être utilisés comme gîtes, dans un rayon de 25 mètres autour de l'observateur.

  En parallèle, un inventaire des arbres pied à pied dans la zone puits a été réalisé afin de caractériser le potentiel « chiroptérologique » des arbres du massif. Cette méthodologie conduit à mettre en évidence les arbres présentant les potentialités les plus fortes en termes de gîte arboricole et qui feront l'objet d'une vérification avant abattage lors des travaux ;
- les gîtes anthropiques (bâtiments avec combles, caves, fissures, anciennes fortifications, ponts non jointés…) : les recherches se sont concentrées sur les gîtes potentiels situés au sein même de l'aire d'étude immédiate. Celle-ci ayant déjà fait l'objet d'inventaires des chiroptères depuis plusieurs années, les prospections ont essentiellement consisté à contrôler, par une recherche active de jour, les sites (gîtes potentiels) connus. La recherche prend en compte deux phases importantes du cycle biologique annuel des chauves-souris : la reproduction et l'hibernation. Quelques gîtes sont également visités en période de transit printanier et automnal ;
- les gîtes hypogés (fissures et failles rupestres, carrières souterrains, grottes…) : aucun site naturel de ce type n'est connu sur l'aire d'étude immédiate, mais quelques petites carrières souterraines pouvant s'apparenter à des grottes, même si elles sont d'origine artificielle, y existent. Le contrôle de ces gîtes a été réalisé.

Afin d'inventorier les chiroptères en chasse ou en vol de déplacement, deux méthodes complémentaires ont été mises en œuvre :

- mesure de l'activité sur points fixes : la méthode consiste à réaliser une écoute (à l'aide d'un détecteur d'ultrasons) sur un point fixe durant 10 minutes exactement, sur des secteurs *a priori* favorables aux chiroptères en chasse ou en vol. Sur cette durée, est notée, par période d'une minute, l'absence/présence de contact avec chaque groupe d'espèces (ou groupe « phonique »). L'identification de l'appartenance à un groupe d'espèces, ou éventuellement à une espèce, est faite au moment de l'écoute. Si celle-ci n'est pas possible à ce moment, une séquence est enregistrée et la détermination s'opère *a posteriori* à l'aide d'un logiciel adapté. 95 points d'écoute ont ainsi été réalisés en 2020 ;
- parcours d'inventaires : la méthode consiste à parcourir à pied l'ensemble de l'aire d'étude immédiate globale (à l'aide d'un détecteur d'ultrasons). Celle-ci a été divisée en 19 secteurs. Ces secteurs, de surface variable, ont été définis de sorte qu'un observateur puisse couvrir correctement chacun d'eux en une soirée. Les surfaces sont ainsi plus importantes dans les secteurs ouverts dominés par les cultures et plus réduites dans les milieux diversifiés ou forestiers. Sur chaque secteur, les parcours ont été différents à chacun des passages afin de couvrir la zone le plus complétement possible.

Ces deux méthodes ont été couplées, les points d'écoute étant intégrés aux parcours pédestres. Si les parcours n'ont pas forcément été les mêmes à chacun des passages, les points d'écoute ont été fixes.

La localisation des points d'écoute a été définie sur la base d'une analyse écologique et paysagère du territoire (notamment à partir des photographies aériennes). Cette recherche a permis de mettre en évidence des lisières forestières, des haies et des zones humides intéressantes pour ces espèces.

Afin d'effectuer des inventaires précis, les enregistreurs à ultrasons utilisés sont de type type BatCorder 2.0 et 3.0 et Mini BatCorder et sont été positionnés sur les sites à haut potentiel (linéaires de haies et lisières). Cette technique permet la détermination de l'ensemble des espèces fréquentant un site au cours d'une ou plusieurs nuits, ainsi que la fréquence de l'utilisation de cet habitat. Les enregistrements issus de ces campagnes sont exploités au moyen de logiciels spécialisés (BcAdmin et BatIdent).

Pour l'étude des chiroptères, les prospections sont menées dans des conditions météorologiques favorables : nuit sans précipitation, ni vent fort et température douce (supérieure à 12° C). Les soirées ne rassemblant pas ces conditions sont exclues.

Les figure 6-12 et figure 6-13 présentent la localisation des points d'écoute des chiroptères de 2015 à 2020 et les figure 6-14 et figure 6-15 la localisation des gîtes arboricoles recensés.

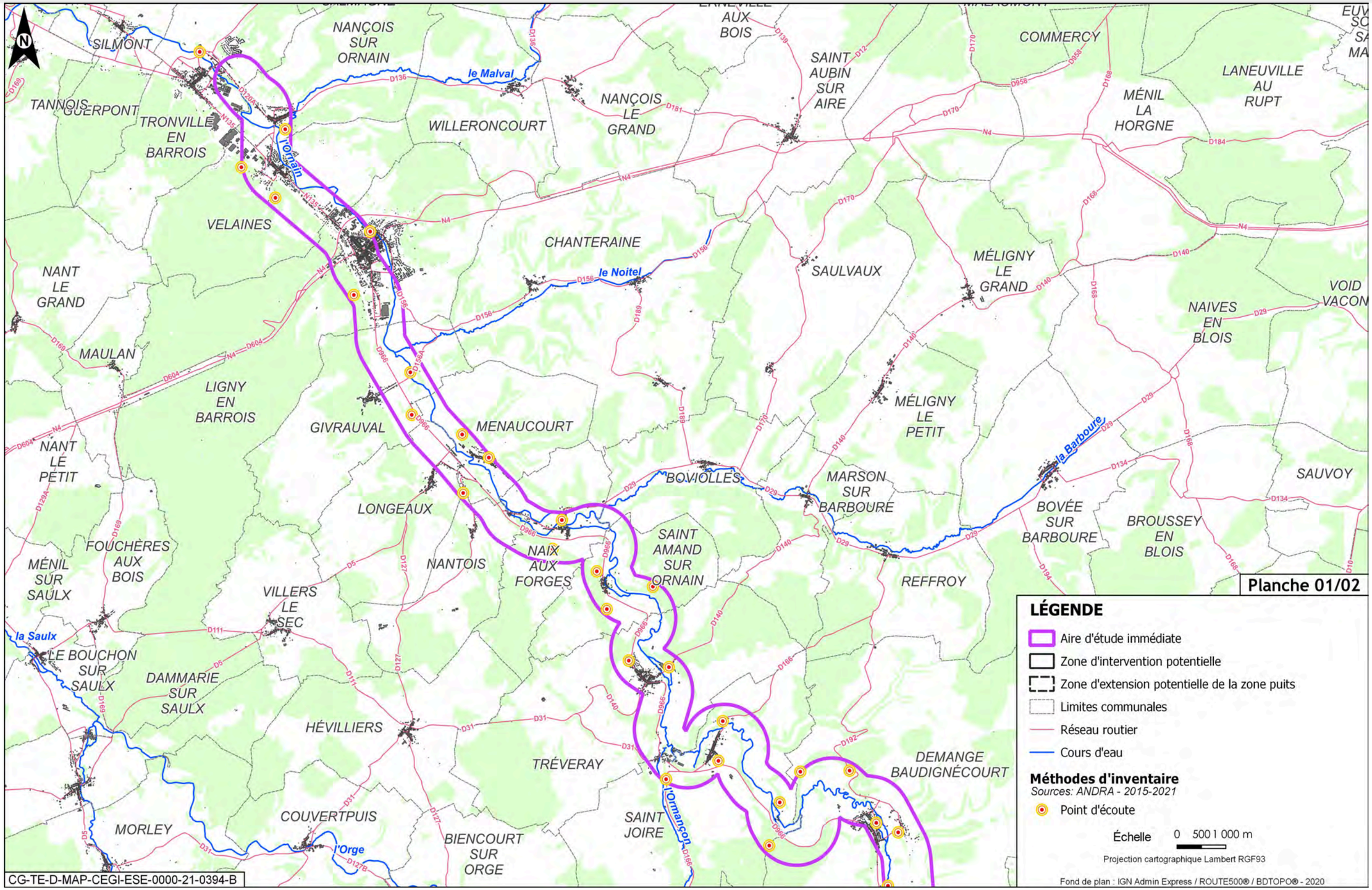


Figure 6-12 Localisation des points d'écoute des chiroptères – 1/2

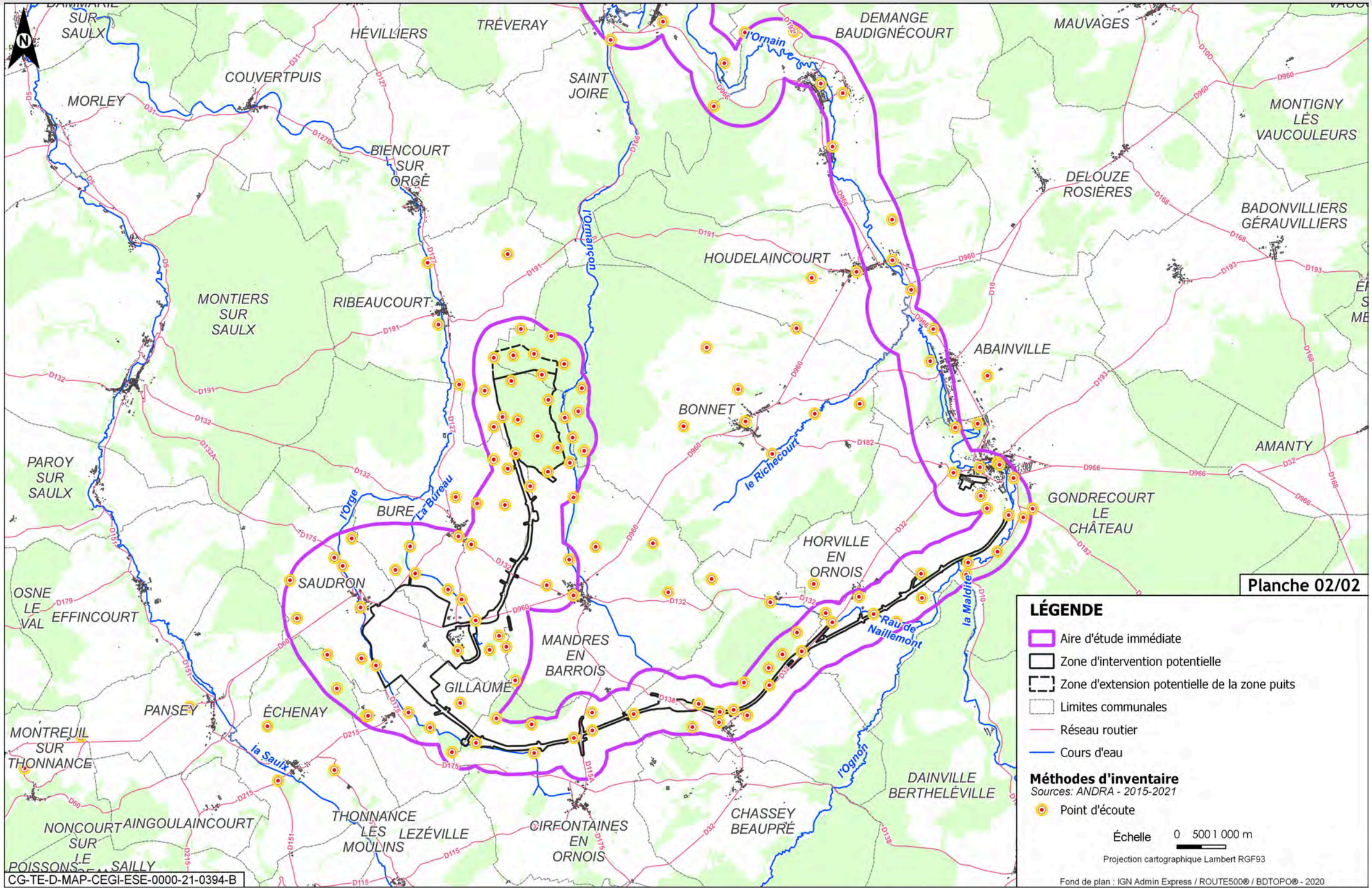


Figure 6-13 Localisation des points d'écoute des chiroptères – 2/2

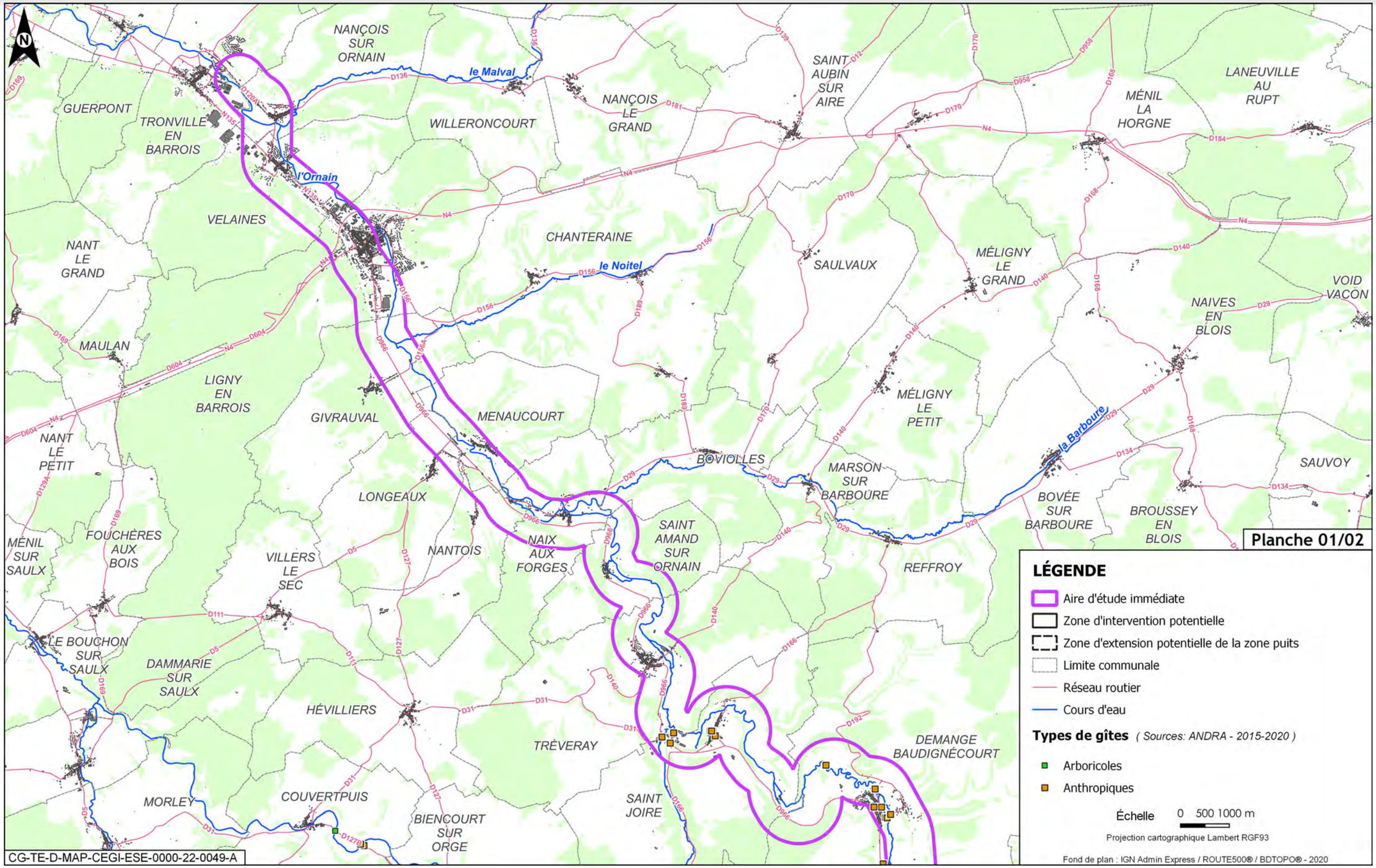


Figure 6-14 Localisation des gîtes à chiroptères – 1/2

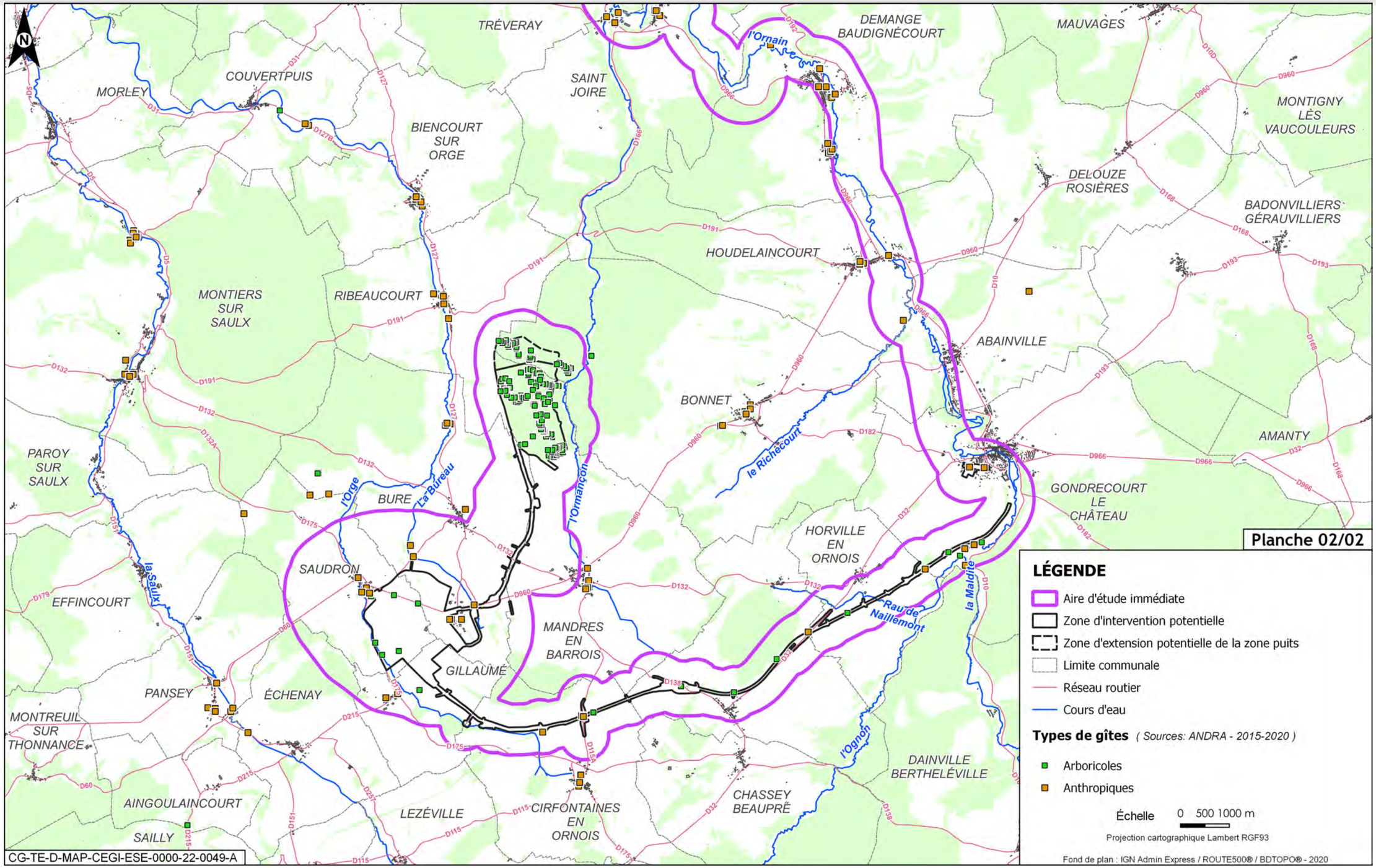


Figure 6-15 Localisation des gîtes à chiroptères – 2/2

6.1.4.7 Protocoles d'observation de la faune piscicole et des zones de frayères

L'inventaire de la faune piscicole a été réalisé de 2015 à 2020 grâce à des pêches électriques (matériel équipé d'une anode pour 4 mètres de large) dans les cours d'eau suivants : la Saulx, l'Orge, l'Ornain, l'Ormançon, la Barboure, le Richecourt, la Maldite, le ruisseau du Naillemont et le ruisseau de l'Étang. La Bureau, située à proximité de la zone descenderie, à sec la plus grande partie de l'année, n'est pas un réservoir de faune piscicole. (En 2017, compte tenu des conditions hydrologiques, tous les cours d'eau n'ont pas pu être échantillonnés. C'est le cas de l'Ormançon, l'Ornain, la Barboure et le Richecourt).

La pêche à l'électricité se pratique à l'aide d'un appareil portatif autonome fonctionnant sur batterie mis en route par le pêcheur. Le principe de la pêche électrique est de créer un champ électrique dans l'eau entre les deux électrodes (la cathode et l'anode) qui attirent les poissons. Les poissons peuvent ainsi facilement être pêchés. La surface en eau est prospectée à pied et de manière complète sur toute la largeur. Deux passages successifs sont réalisés avec retrait des poissons entre chaque passage. L'ensemble des poissons capturés est identifié, mesuré et pesé. À la fin de l'opération, tous les poissons sont relâchés dans le milieu d'origine.

L'identification des sites de frai s'est déroulée en deux temps, suivant la circulaire du 21 janvier 2009 relative aux frayères et aux zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole (MEEDDAT, 2009) (125). En premier lieu, la campagne de prospection de frayères potentielles (menée entre juin et juillet 2017, au niveau des cours d'eau suivants : la Saulx, l'Ornain, l'Orge, l'Ognon, la Maldite, le Naillemont, le ruisseau de l'Étang, la Barboure, le Richecourt, l'Ormançon, l'Osne, le Mont et la Marne à Joinville) a permis d'effectuer une identification des surfaces pouvant être susceptibles d'accueillir le frai au regard des espèces cibles. Cette approche probabiliste se focalise essentiellement sur l'observation de la granulométrie de fond de lit du cours d'eau.

Les conditions hydrologiques de l'été 2017 (assec) ont été peu favorables à la reconnaissance des zones de frayères potentielles. Les relevés complémentaires visant à repérer les frayères avérées ont été réalisés du 8 au 12 janvier 2018. Cependant les conditions hydrologiques de janvier 2018 (crue) ont été peu favorables à l'observation des zones de frayères avérées.

Dans un second temps, une étude de localisation des frayères a été réalisée lors de la période hivernale 2019-2020 afin de compléter l'étude réalisée en 2017 par la société PEMA sur les frayères potentielles. L'objectif est de démontrer que le caractère potentiel des frayères relevées en 2017 est avéré pour certaines espèces.

À partir des données disponibles sur la faune piscicole, seules les espèces bénéficiant d'un statut de protection particulier ont été considérées (espèces protégées ou listées en annexe de la directive habitats (116)). Les inventaires sont établis en tenant compte des arrêtés préfectoraux des départements de la Meuse et de la Haute-Marne portant inventaire et classement des zones de frayères, de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole.

Les figure 6-18 et figure 6-19 localisent les pêches électriques réalisées entre 2015 et 2020.

6.1.4.8 Protocoles d'observation des mollusques

Une première étude des mollusques aquatiques a été réalisée de 2012 à 2014, au cours de laquelle les prospections de terrain ont mis en évidence 58 espèces de gastéropodes terrestres, et 27 espèces de mollusques aquatiques dont trois grands bivalves (*Anodonta anatina, Unio mancus* et *Unio crassus)*. Parmi les mollusques aquatiques, deux espèces protégées la Bythinelle des moulins (*Bythinella viridis)* et la Mulette épaisse (*Unio crassus)* avaient été collectées

Afin de compléter ces données, des prospections de sources pour actualiser les données de présence de la Bythinelle des moulins ont été réalisées en 2020 et en 2021, ainsi que des prélèvements d'eau pour l'analyse de l'ADN environnemental et, enfin, des recherches spécifiques ont été menées pour la Mulette épaisse dans les sections de cours d'eau franchis par les ouvrages d'art ferroviaire.

La première phase de terrain s'est déroulée du 24 au 29 septembre 2020. En 2021, les compléments d'inventaire sur les sources du périmètre centre de stockage Cigéo et les recherches de mulette se sont tenues respectivement du 12 au 14 avril 2021 et du 19 mai 2021 au 23 mai 2021.

Les **prospections de sources** ont consisté en une visite du site. Les Bythinelles des moulins ont été recherchées à vue sous les pierres immergées, sous la végétation et sur le sédiment. Dans certains cas, lorsqu'il n'y avait aucun animal visible, un tamisage de sédiments à l'aide d'une épuisette métallique d'1 mm de vide de maille a été réalisé pour rechercher des coquilles.

Quant aux **prélèvements d'eau pour l'analyse de l'ADN environnemental**, la méthode standard d'échantillonnage mise au point pour les bivalves en milieu courant consiste pour chaque site à réaliser deux prélèvements de 30 litres d'eau chacun. Les prélèvements sont réalisés par pompage direct dans le cours d'eau à l'aide d'une pompe péristaltique portative. L'eau prélevée est filtrée immédiatement dans une capsule dédiée. Une solution tampon est ajoutée dans la capsule à la fin de la filtration de manière à garantir une bonne préservation de l'ADN et la capsule est envoyée au laboratoire pour analyse. Tout le matériel utilisé est stérile et garanti DNA-free.

La présence de la **Mulette épaisse** sur l'Ornain avait été mise en évidence à Tréveray par les études préliminaires (2013-2014). Sur la base des résultats des analyses ADNe, des prospections spécifiques ont été menées au niveau de tous les ouvrages de franchissement de la ligne SNCF, ouvrages qui pourraient faire l'objet de travaux de réfection. Les prospections ont été réalisées à l'aide d'aquascopes (totalité des stations prospectées), avec parfois la mise en œuvre de plongée hyperbare quand la profondeur le nécessitait. L'importance des populations sur chaque site a été évaluée par *Catch Per Unit Effort* (capture par unité d'effort, CPUE) soit ici le nombre d'individu observés par unité de temps.

Les figure 6-18 et figure 6-19 localisent les sources prospectées pour l'inventaire des mollusques.

6.1.4.9 Regroupement en cortèges d'espèces faune

Sur la base de la caractérisation des enjeux sur les espèces protégées et patrimoniales, il a été décidé de les regrouper en cortèges de même affinité écologique avec pour chaque cortège la définition d'espèces cibles patrimoniales et ou protégées. Les espèces plus communes et ayant une certaine plasticité écologique et capacité d'adaptation seront tout de même pris en compte par « effet parapluie », conditionnées par les espèces patrimoniales à l'écologie plus spécifique.

A noter qu'au regard de l'écologie de certaines espèces, certaines sont présentes au sein de plusieurs cortèges car en capacité d'utiliser plusieurs habitats pour effectuer leur cycle de vie

25 cortèges ont été définis et sont présentés en annexe 8.2 du présent volume.

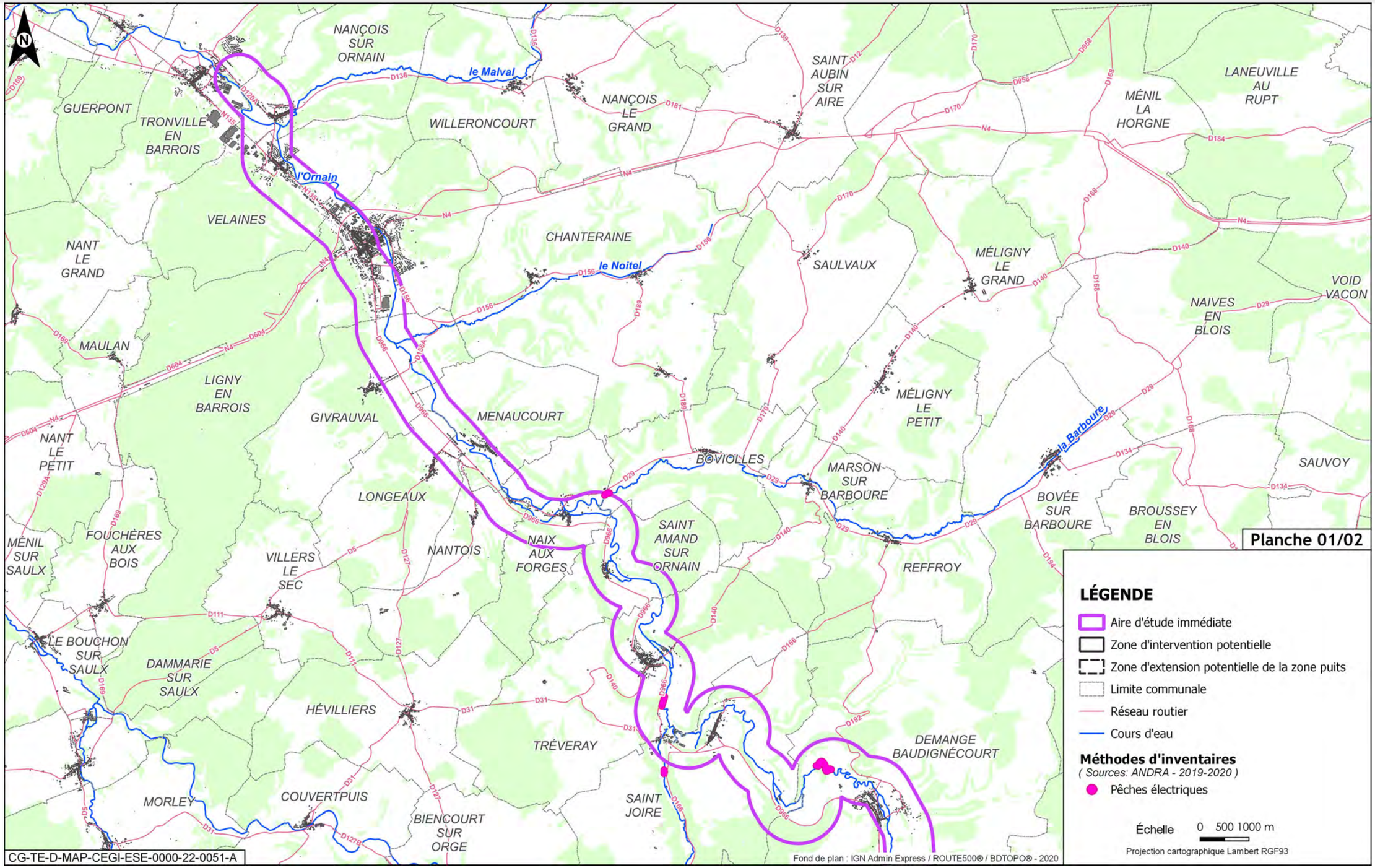


Figure 6-16 Localisation des pêches électriques - 1/2

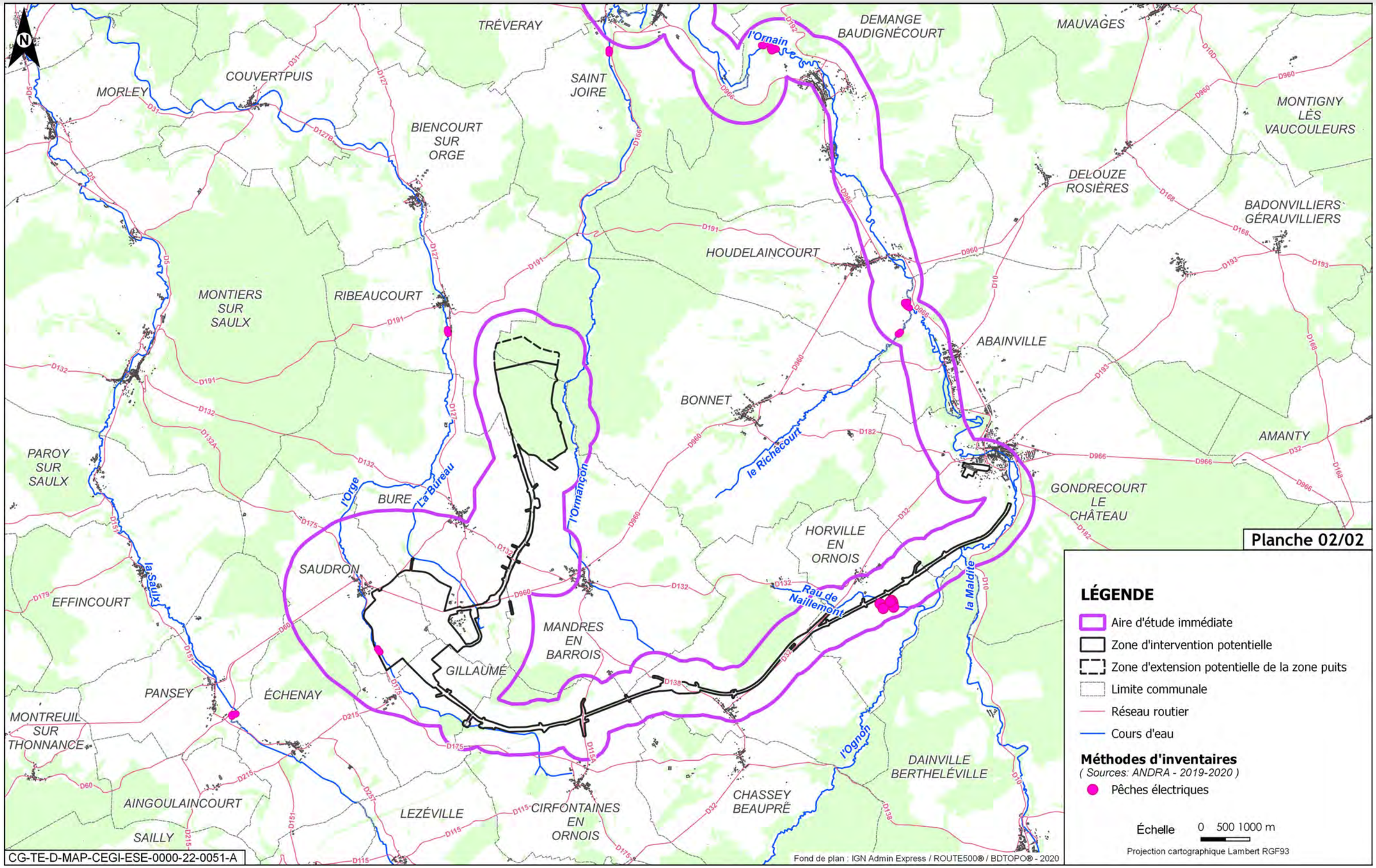


Figure 6-17 Localisation des pêches électriques - 2/2

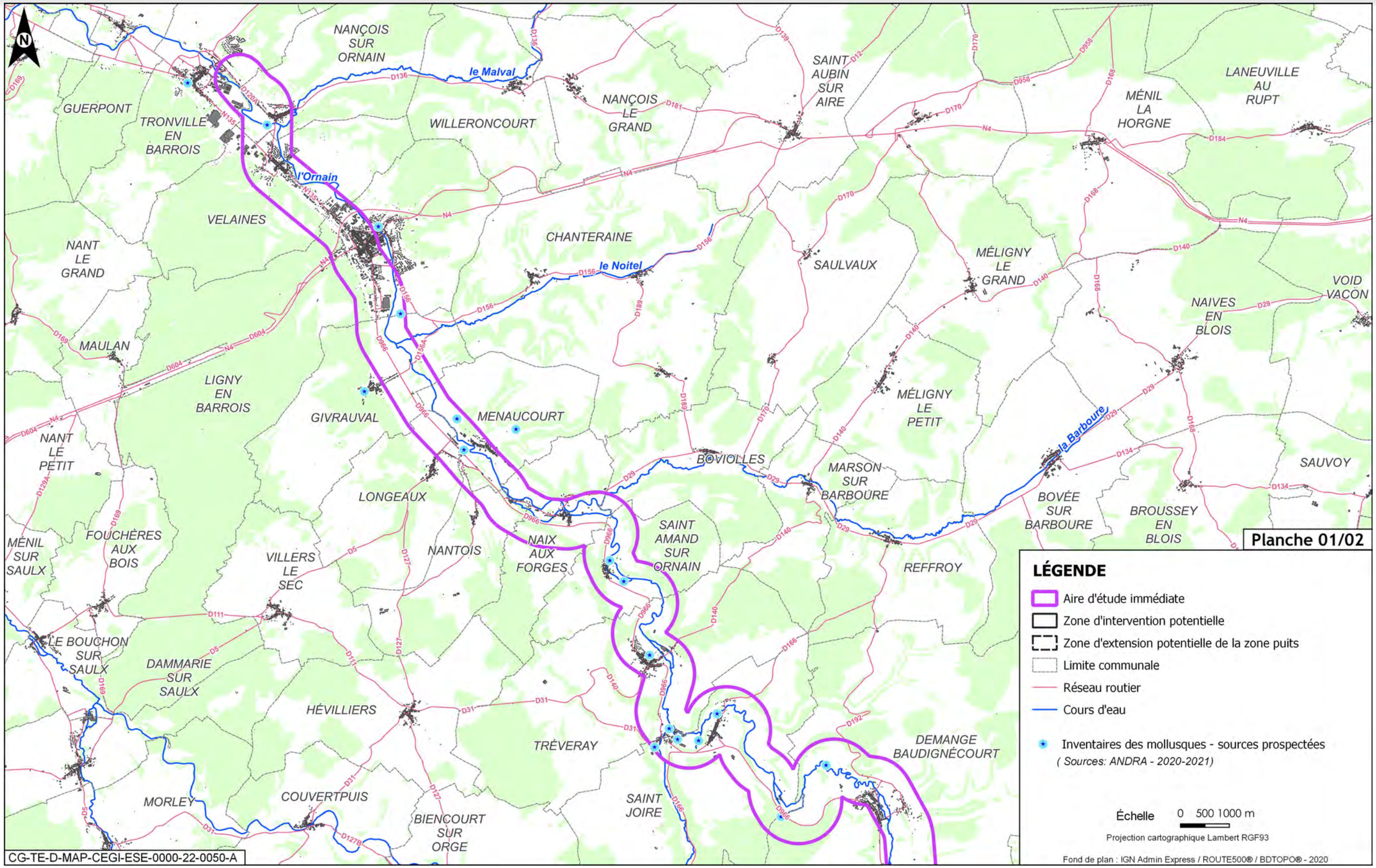


Figure 6-18 Localisation des sources prospectées pour la recherche de mollusques - 1/2

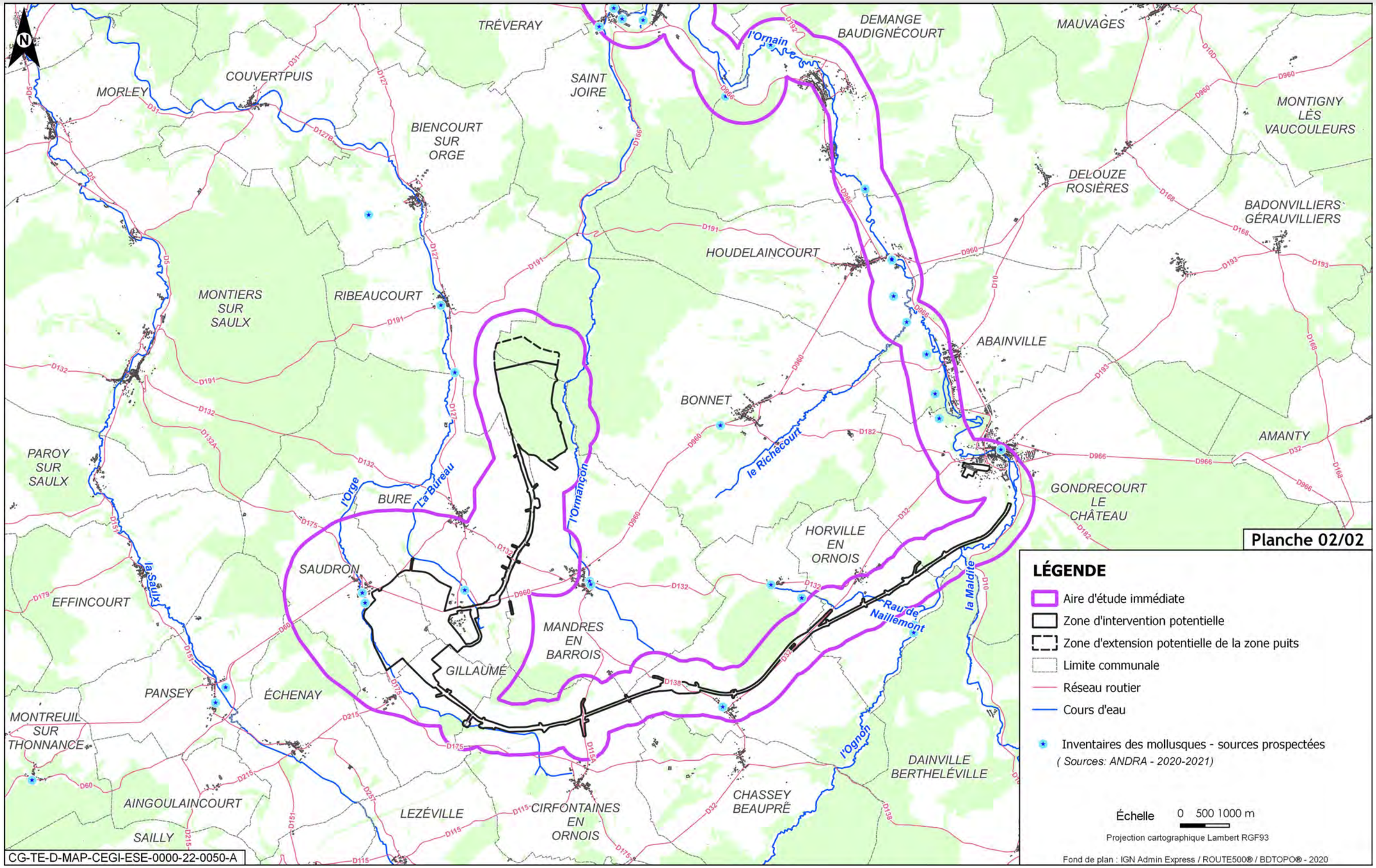


Figure 6-19 Localisation des sources prospectées pour la recherche de mollusques - 2/2

6.1.5 Délimitation des zones humides

Conformément à la réglementation en vigueur lors de la réalisation des études, une identification et une délimitation des zones humides sont réalisées en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement en trois temps.

L'article L. 211-1 du code de l'environnement, qui instaure et définit l'objectif d'une gestion équilibrée de la ressource en eau, vise en particulier la préservation des zones humides, dont il donne la définition en droit français (définition de la loi sur l'eau de 1992 (126)) : *« On entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ou dont la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année »* (article L. 211-1 du code de l'environnement, modifiée par la loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019 (127), art. 23).

La définition légale des zones humides est donc fondée sur deux critères alternatifs que constituent, d'une part, les sols habituellement inondés ou gorgés d'eau et la végétation hygrophile (espèces adaptées à la vie dans des milieux très humides ou aquatiques).

La méthode retenue est donc de réaliser une cartographie de la végétation permettant de caractériser les habitats afin de différencier les habitats dits « humides » (H) des habitats « potentiellement ou partiellement humides » (p) ou bien des habitats « non humides ». Ces deux derniers types font ensuite l'objet d'un examen pédologique.

L'arrêté du 24 juin 2008, modifié par l'arrêté du 1er octobre 2009 (128) précise la méthodologie et les critères pour la délimitation des zones humides sur le terrain. Ces arrêtés sont complétés par la circulaire du 18 janvier 2010 (129), qui précise : « Dans tous les cas, lorsque le critère relatif à la végétation n'est pas vérifié, il convient d'examiner le critère pédologique ; de même, lorsque le critère pédologique n'est pas vérifié, le critère relatif à la végétation doit être examiné (cf. Arbre de décision simplifié présenté en annexe 2 de la circulaire) ».

De ce fait les parcelles notées comme « Non zone humide » d'après les habitats observés ne peuvent être directement caractérisées comme non-humides sans prospections pédologiques (et/ou piézométriques) complémentaires. Ces parcelles devront donc, au regard de la réglementation, demeurer dans une « couche d'alerte » afin de souligner les risques de présence de zone humide dans le cas où des aménagements seraient prévus sur la zone.

A contrario une fois l'habitat ou le sol classé comme caractéristique d'une zone humide d'après les catégories présentées dans la circulaire, la zone peut être directement classées comme zone humide avérée. En chaque point, la vérification de l'un des critères relatifs aux sols ou à la végétation suffit pour statuer sur la nature humide de la zone.

Une zone est ainsi considérée comme humide au sens du code de l'environnement si elle présente l'un des critères suivants (on parle de critères alternatifs).

6.1.5.1 Critère « végétations »

La végétation d'une zone humide, si elle existe, est caractérisée :

- soit par des « habitats », caractéristiques de zones humides, identifiées selon la méthode et la liste correspondante figurant à l'annexe 2.2 de l'arrêté du 24 juin 2008 (128) ;
- soit par des espèces indicatrices de zones humides, selon la méthode et la liste d'espèces figurant à l'annexe 2.1 du 24 juin 2008 (128), complétée en tant que de besoin par une liste additionnelle d'espèces arrêtée par le préfet.

La présence d'une végétation de zone humide est suffisante pour caractériser une zone humide réglementaire (avérée).

La figure 6-21 et la figure 6-22 présentent la localisation des relevés floristiques zones humides de 2015 à 2020 réalisés dans l'aire d'étude immédiate, en différenciant la zone d'intervention potentielle.

6.1.5.2 Critère « sols »

L'arrêté du 24 juin 2008 (128) modifié présente les méthodes de terrain pour la délimitation des zones humides selon des critères pédologiques ainsi que la liste des sols caractéristiques des zones humides.

Ces sondages pédologiques de caractérisation ont été effectués à la tarière manuelle, conformément à l'arrêté du 1er octobre 2009, modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides, en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement (130), et à la circulaire du 18 janvier 2010 relative à la « délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement » (129). Ces sondages ont été réalisés à la tarière, jusqu'à 120 cm de profondeur chaque fois que possible et *a minima* jusqu'à 60 cm lorsque aucune trace de trait rédoxique n'était visible. En effet, pour définir le type de sol humide, il est nécessaire si on observe des traits rédoxiques à moins de 50 cm, de regarder également plus en profondeur.

La présence, le type et l'importance des traces d'hydromorphie éventuellement visibles ont été relevés. D'après les arrêtés ministériels, les sols sont caractéristiques de zones humides lorsqu'ils présentent une des caractéristiques ci-dessous :

- présence d'horizons histiques (ou tourbeux) débutant à moins de 50 cm de la surface du sol et d'une épaisseur d'au moins 50 cm. On parle alors d'histosols ;
- présence de traits réductiques débutant à moins de 50 cm de la surface du sol. On parle alors de réductisols ;
- présence de traits rédoxiques débutant à moins de 25 cm de la surface du sol et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur. On parle alors de rédoxisols ;
- présence de traits rédoxiques débutant à moins de 50 cm de la surface du sol, se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur, et de traits réductiques apparaissant entre 80 et 120 cm de profondeur. On parle également de rédoxisols.

Le rattachement des sols hydromorphes à des sols de zones humides au sens règlementaire est effectué au travers du **tableau du GEPPA** (tableau Groupement d'études des problèmes de pédologie appliquée, 1981) adapté à la réglementation en vigueur.

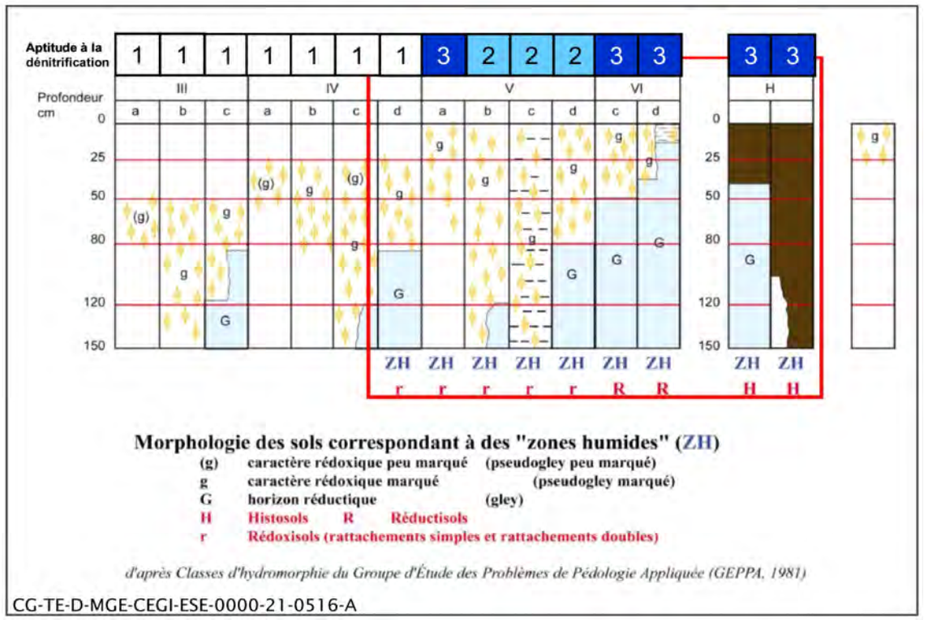


Figure 6-20 Classes d'hydromorphie du GEPPA

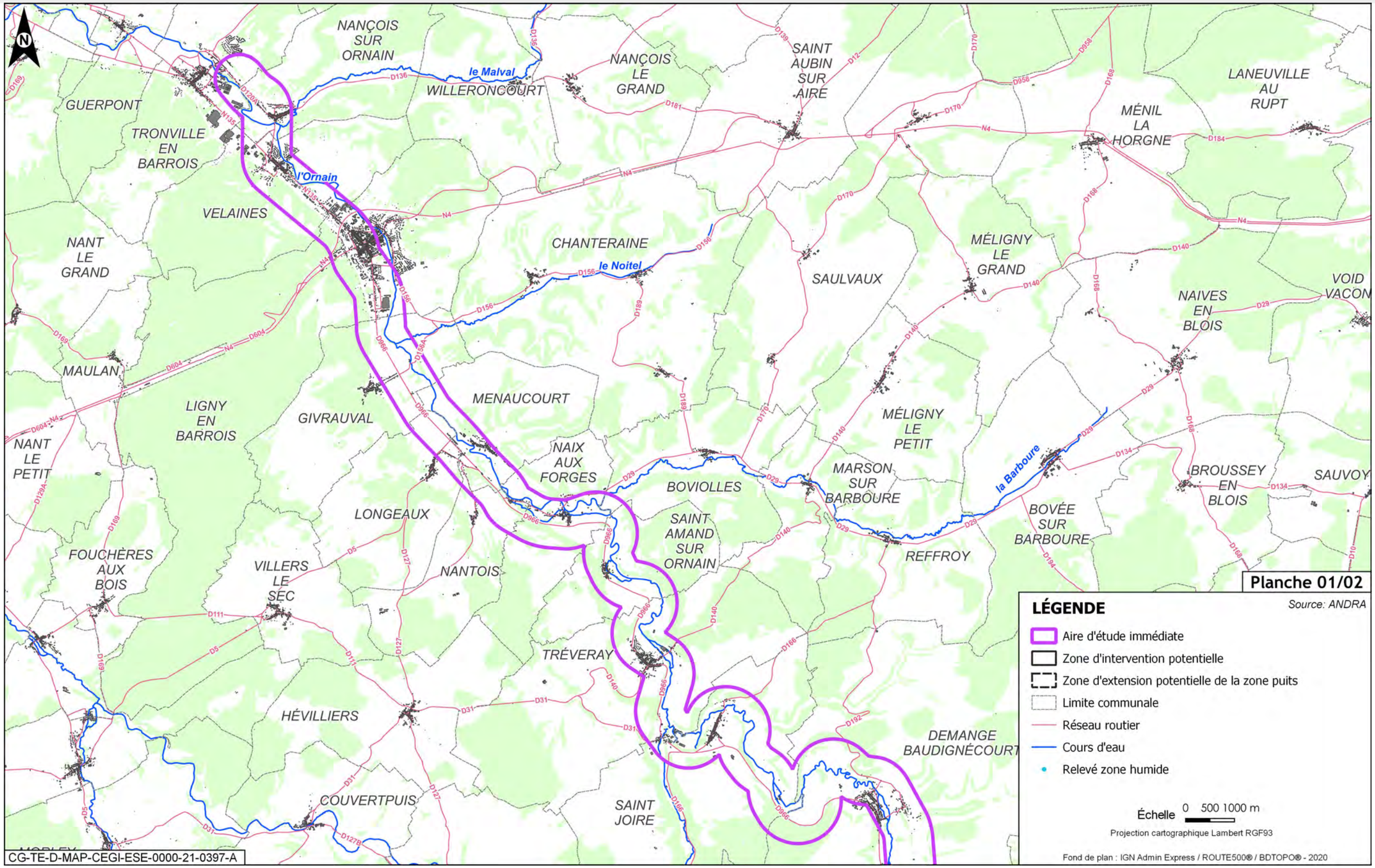


Figure 6-21 Localisation des relevés floristiques zones humides – 1/2

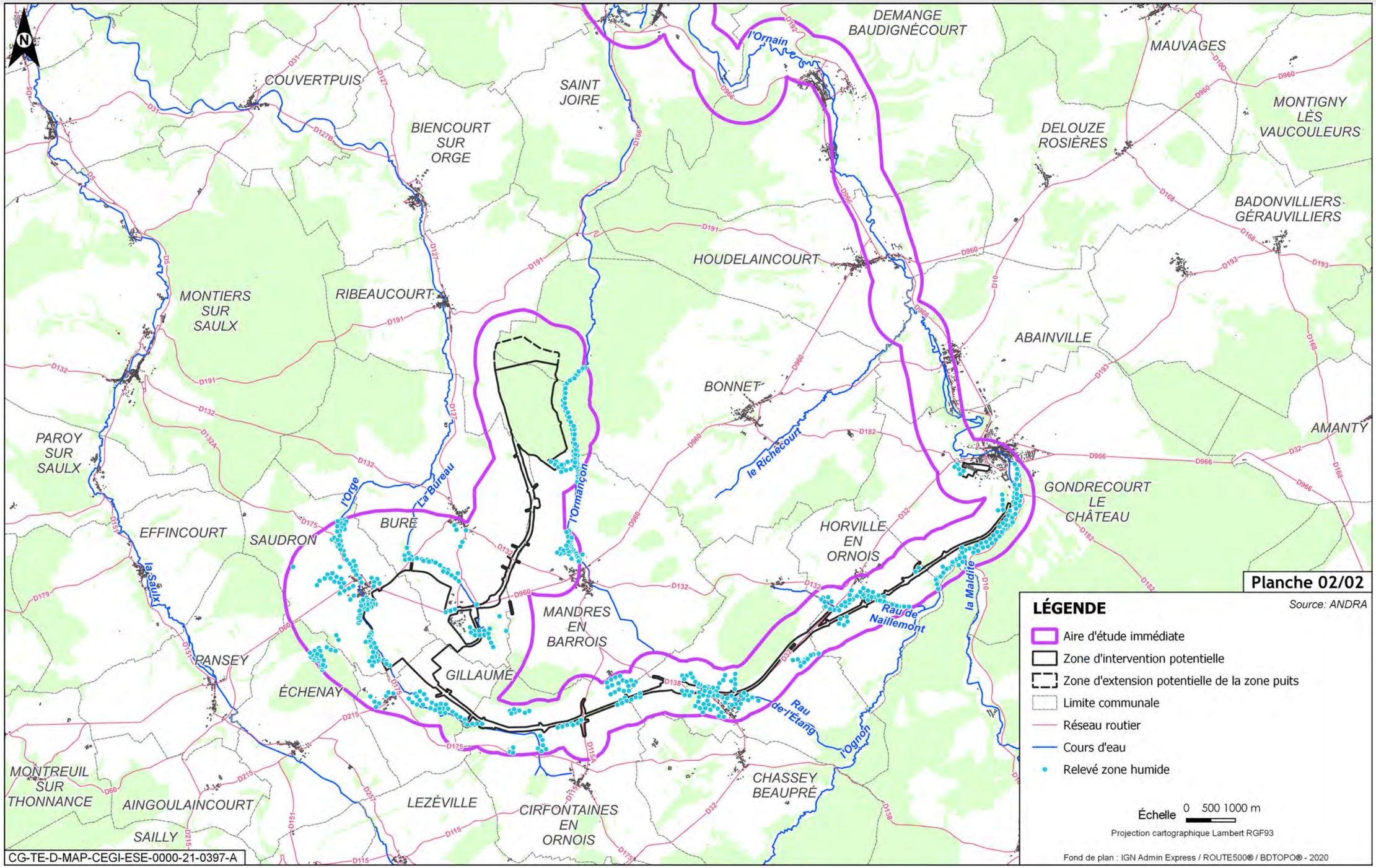


Figure 6-22 Localisation des relevés floristiques zones humides – 2/2

6.1.5.3 Prospections de terrain

Plusieurs campagnes d'identification des zones humides locales ont été réalisées de 2015 à 2021 en fonction des zones du projet global Cigéo. Les dates sont précisées dans le tableau en annexe 7.4 du présent volume.

Un plan de sondages pédologiques, présenté sur la figure 6-23, a été établi en 2019 en croisant les informations suivantes :

- les zones à dominantes humides identifiées par la DREAL décrites au chapitre 6.5.3.2 du volume III de la présente étude d'impact ;
- les informations fournies par la carte pédologique ;
- les relevés des habitats potentiellement humides et d'habitats non caractéristiques afin d'effectuer des levées de doutes sur le caractère humide de ces habitats notamment au droit des secteurs de vallées permanentes et temporaires, ainsi que sur les zones de replats topographiques.

Sur la base des relevés des habitats humides, complétés si besoin par des sondages pédologiques (en différenciant les sondages caractéristiques de zones humides de ceux non caractéristiques), le périmètre des zones humides est délimité, au titre de l'article L. 214-7-1, au plus près des points de relevés ou d'observation répondant aux critères relatifs aux sols ou à la végétation.

La délimitation s'est également appuyée sur les éléments de reliefs et microtopographiques présents aux abords des points de sondages et des habitats humides, afin de tracer les contours et limites de ces zones humides de la manière la plus précise possible.

Comme présenté sur la figure 6-24, sur les 253 prélèvements pédologiques réalisés sur la zone d'intervention potentielle du projet de centre de stockage :

- 29 prélèvements sont caractérisés comme humides ;
- 213 prélèvements sont caractérisés comme non humides.

Sept prélèvements n'ont pas pu être réalisés du fait d'altercations avec les opposants au projet et de sols anthropiques, ainsi que quatre considérés comme indéterminés (sol trop caillouteux).

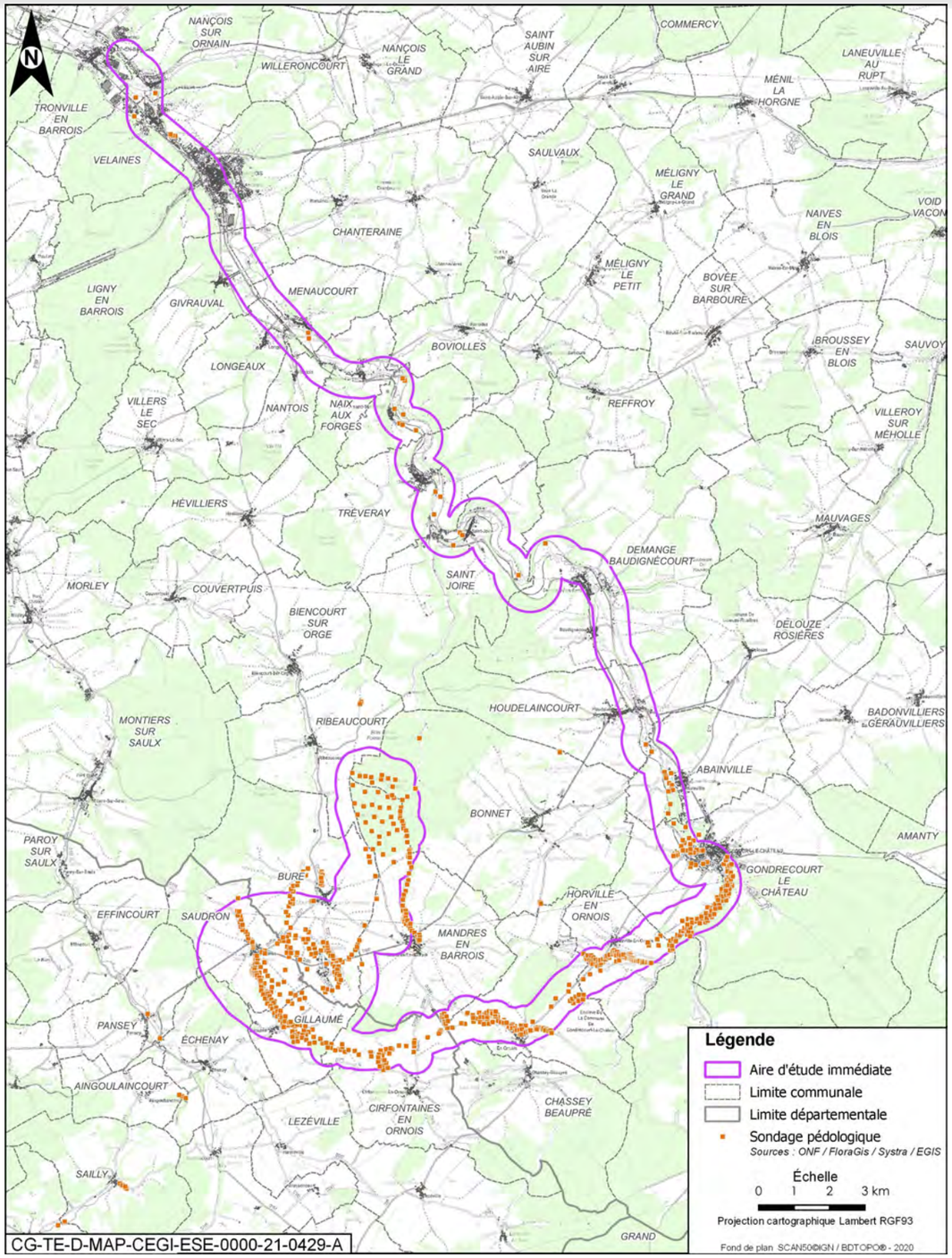


Figure 6-23 Plan des sondages pédologiques

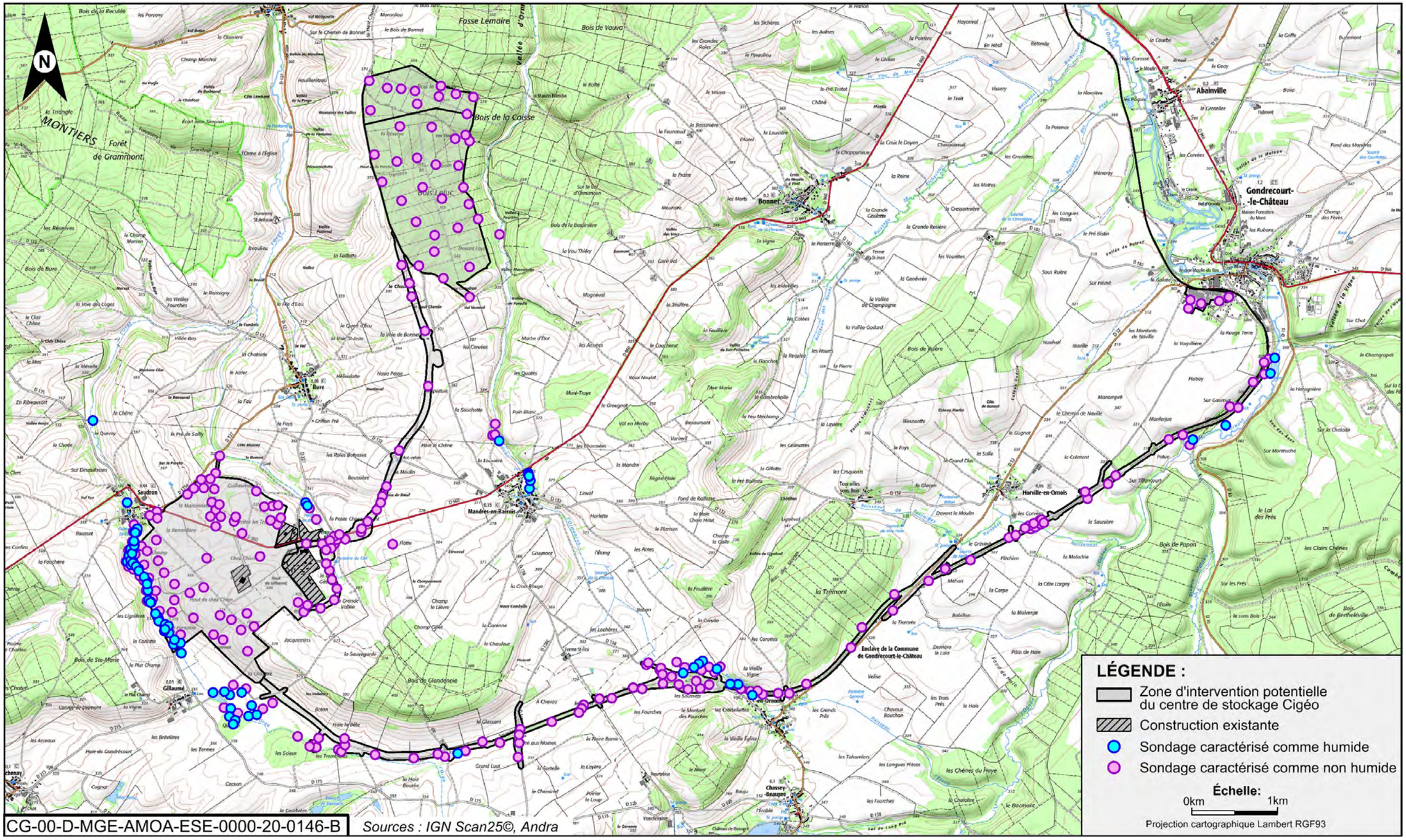


Figure 6-24 Localisation des sondages pédologiques réalisés sur les zones d'intervention potentielles du centre de stockage

6.1.6 Continuités écologiques

Les continuités écologiques ont été identifiées à plusieurs échelles :

- à l'échelle nationale, avec la définition des continuités écologiques d'importance nationale issues de la mise en cohérence nationale de la Trame verte et bleue ;
- à l'échelle régionale, avec les corridors identifiés dans le SRADDET de la région Grand Est (6) ;
- à une échelle plus locale, suite aux observations de terrain des espèces et des habitats favorables à leurs déplacements. Une modélisation des continuités écologiques locales a également été réalisées.

Au niveau local, l'identification des corridors de déplacements préférentiels de la faune se base sur les observations de terrain et la connaissance des habitats d'espèces pour chaque groupe. Pour les mammifères terrestres, des appareils photographiques à détecteur de présence ont été positionnés dans des zones considérées comme favorables aux déplacements. En hiver, par temps de neige, les observations des traces informent également sur les déplacements de la faune terrestre, en particulier des mammifères. Pour les chiroptères, les enregistreurs permettent de comptabiliser les contacts et d'identifier les routes de vol préférentielles. Enfin, pour les amphibiens, des campagnes d'observations spécifiques mises en œuvre lors les périodes de migrations prénuptiales au printemps, permettent d'identifier les éventuelles voies de migration locales.

À proximité de l'aire d'étude immédiate du projet global Cigéo, une modélisation des continuités écologiques a été réalisée en utilisant les données d'occupation des sols et de la Trame verte et bleue : registre parcellaire et BD Topo de l'IGN, données du SRADDET Grand Est 2019 (6) qui a actualisé et homogénéisé, les informations issues des SRCE, zones humides remarquables de l'Agence de l'eau et mares identifiées par le conservatoire des espaces naturels.

À partir de ces éléments, trois sous-trames représentatives ont été modélisées :

- sous-trame boisée ;
- sous-trame ouverte ;
- sous-trame aquatique et humide.

À partir de cette détermination, une espèce représentative (espèce cible) est définie selon le territoire et à dire d'expert par sous-trame.

La sélection des espèces cibles associées aux sous-trames a été réalisée selon les critères suivants :

- appartenance de l'espèce aux espèces-cibles de la Trame verte et bleue ;
- représentativité de l'écologie de l'espèce par rapport à l'écologie « moyenne » des espèces associés à la sous-trame considérée ;
- caractère « communiquant » de l'espèce pour le grand public ;
- disponibilité d'informations dans la bibliographie sur les modalités de dispersion de l'espèce dans le milieu ;
- présence sur l'aire d'étude (données issues des inventaires de terrain).

Les quatre espèces cibles retenues sont présentées dans le tableau 6-7.

Tableau 6-7 Choix des espèces cibles par sous-trame

Données source	Sous-trame	Éléments du paysage d'intérêt pour la faune et la flore	Espèces potentielles associées	Distance maximale de dispersion de l'espèce
SRADDET	Boisée	Forêts	Chat forestier	5,5 km
	Ouverte	Prairies, landes ou pelouses	Coronelle lisse	2,8 km
	Aquatique et humide	Fossés, cours d'eau, plans d'eau, mares et zones humides	Agrion de mercure Conocéphale des roseaux	3 km

La méthodologie pour mettre en évidence les corridors écologiques potentiels au sein du périmètre du projet global Cigéo s'appuie sur la théorie mathématique couramment utilisée en écologie du paysage du « chemin de moindre coût ».

Pour chaque espèce cible, le modèle trace un grand nombre de chemins entre des zones sources qui sont ici les réservoirs de biodiversité. Le modèle calcule ensuite le « coût » associé au parcours de chacun des chemins identifiés. Les chemins conservés pour relier deux réservoirs sont ceux qui correspondent à ceux qui ont le coût le plus faible. La carte des coûts de déplacement est représentée par la couche d'occupation du sol dans laquelle chaque habitat est affecté du coefficient de résistance au déplacement. Ce coefficient de résistance est proportionnel à la difficulté qu'ont les espèces animales à traverser une distance unitaire de l'habitat en question. Chaque habitat se voit ainsi affecté d'une note de perméabilité qui est d'autant plus faible que le milieu est perméable pour l'espèce ou le groupe considéré.

À partir de ces cartes de déplacements par sous-trame, sont définies les cartes des continuités et fragmentations pour chaque sous-trame qui identifient les passages préférentiels ainsi que les points de conflit correspondant à des obstacles ou à des difficultés de circulation pour les espèces cibles.

6.1.7 État radiologique initial

Les éléments radioactifs pouvant être présents à l'état naturel et/ou artificiels dans l'aire d'étude ont été recherchés et mesurés. Ils constituent le bruit de fond radiologique ambiant. Plusieurs campagnes de prélèvements ont été réalisées pour établir le bruit de fond radiologique sur les différents compartiments de l'environnement : atmosphère, eaux souterraines et superficielles, sols, sous-sol et milieu biologique (produits agricoles et naturels). La méthode complète d'analyse de l'état radiologique initial est détaillée au chapitre 2.5.2 du présent volume.

Les différents lieux de prélèvements des échantillons pour les mesures de la radioactivité sont représentés sur la figure 2-7. Les mesures sur les prélèvements effectués ont été réalisées, soit par des laboratoires de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), soit par le laboratoire d'analyse de Subatech de Nantes (prélèvements effectués dans le cadre de la surveillance du Laboratoire souterrain et lors de la campagne sur les eaux superficielles), tous agréés.

Concernant le milieu biologique, les matrices biologiques terrestres (tissus animaux ou végétaux) prélevées et analysées sont des bio-indicateurs qui peuvent être des espèces végétales ou animales susceptibles soit de concentrer des polluants, soit de rendre compte d'une contamination moyenne sur une surface assez large.

Matrices biologiques terrestres

Les matrices biologiques terrestres (tissus animaux ou végétaux) prélevées et analysées sont :

- d'une part, des bio-indicateurs qui peuvent être des espèces végétales ou animales susceptibles soit de concentrer des polluants, soit de rendre compte d'une contamination moyenne sur une surface assez large ;
- d'autre part, des produits végétaux et animaux faisant partie de la chaîne agro-alimentaire. Deux critères sont importants à prendre en compte : le premier est la représentativité des productions locales et le deuxième l'importance dans la ration alimentaire humaine.

Les bio-indicateurs et les produits de la chaîne alimentaire analysés sont présentés dans le tableau 6-8.

Tableau 6-8 Choix des prélèvements de matrices biologiques terrestres pour le fond radiologique

Bio-indicateurs	Chaîne alimentaire agricole
• mousses (bryophytes) ; • feuilles d'arbre (en particulier pour les analyses tritium et ^{14}C) ; • baies (ex. : framboises, mûres) ; • champignons :, • gibier (sanglier, chevreuil), échantillons fournis par des chasseurs lors de chasses de loisirs organisées régulièrement sur la zone d'étude.	• herbe de prairie ; • céréales (ex. blé tendre) ; • oléagineux (ex. colza) ; • tubercules (ex. pomme de terre) ; • légumes-feuilles (ex. salade) ; • fruits produits localement (ex. mirabelles) ; • fourrages destinés aux animaux (ex. ensilage de maïs) ; • lait de vache ; • fromage ; • viande bovine ; • miel.

L'ensemble des éléments radioactifs recherchés dans ces matrices biologiques terrestres et les échantillons analysés sont restitués dans le tableau 6-9.

Tableau 6-9 Analyses réalisées sur les matrices biologiques

Matrice	Nombre d'échantillons	Spectrométrie gamma	Tritium lié	^{14}C/sur C total	Spectrométrie alpha ^{238}Pu, $^{239,240}Pu$, ^{241}Pu, ^{241}Am	ICP-MS (U, Ra, Th)	^{90}Sr	^{210}Po
Céréales (grains de blé)	2	2				2		
Oléagineux (graines de colza)	1	1						
Tubercules (pommes de terre)	2	2						
Légumes feuilles (salade, chou, rhubarbe)	2	2			2	2	2	2
Fruits (mirabelles)	1	1						
Fourrage (ensilage de maïs)	2	2						
Herbe	4	4			4	4	4	4
Lait de vache	4	4				4	4	
Fromage de vache	4	4					4	
Viande (vache, mouton)	2	2						
Feuilles d'arbres	4	4	4	4				
Sanglier (muscle)	2	2						
Chevreuil (muscle)	2	2						
Sanglier (foie)	2	2			2			
Sanglier (os)	2	2			2		2	
Champignons	2	2						
Baies forestières	2	2						
Miel	2	2						
Mousses terrestres	2	2						

6.1.8 Appréciation des enjeux écologiques

6.1.8.1 Démarche

Sur la base de la description des habitats et des espèces présentes, les enjeux de préservation du patrimoine naturel sont identifiés et hiérarchisés en tenant compte de la vulnérabilité des espèces et de la fonctionnalité des milieux.

L'enjeu représente la valeur attribuée à une espèce, un groupe biologique ou un cortège d'espèces, un habitat d'espèce, une végétation, un habitat naturel ou encore un cumul de ces différents éléments. Il s'agit d'une donnée objective, évaluée sans préjuger des effets du projet et définie sur la base de plusieurs critères.

Les listes de protection ne sont pas nécessairement indicatrices du statut de rareté/menace des espèces. Si pour la flore, ces statuts réglementaires sont assez bien corrélés à la rareté des espèces, la même considération de rareté n'intervient pas toujours dans la définition des listes d'espèces animales protégées. Cette situation a amené à utiliser d'autres outils, établis par des spécialistes, pour évaluer la rareté et/ou le statut de menace des espèces présentes : les listes rouges, les synthèses régionales ou départementales, la littérature naturaliste. Elles rendent compte de l'état des populations d'espèces dans le secteur géographique auquel elles se réfèrent, mais ces documents de référence pour l'expertise n'ont pas de valeur juridique.

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation des enjeux de préservation du patrimoine naturel sur les différentes zones du projet global Cigéo a été réalisée à deux échelles (cf. Figure 6-25) :

- une échelle régionale se basant sur les statuts réglementaires et les statuts de conservation ;
- une échelle locale correspondant à l'aire d'étude immédiate.



Figure 6-25 Schéma de la démarche d'appréciation des enjeux écologiques

6.1.8.2 Évaluation des enjeux à l'échelle régionale

L'évaluation des enjeux à l'échelle régionale est effectuée sur cinq niveaux, en fonction de la portée géographique et de la patrimonialité des espèces.

Cette évaluation se base essentiellement sur les aspects réglementaires et de conservation présentés dans les listes rouges des espèces. Ont également été pris en compte les statuts de rareté (communs, rare, à surveiller…) des espèces souvent mentionnées dans les atlas. Enfin, les tendances des effectifs d'oiseaux nicheurs ont également été prises en compte sur la base du programme Vigie-Nature[29]. Celui-ci dresse une tendance d'évolution depuis 2001.

En l'absence de certaines listes rouges régionales en Lorraine, le critère ZNIEFF (espèces déterminantes) a été retenu afin d'évaluer le statut régional de l'espèce.

Les documents de référence consultés pour définir le statut de rareté ou de menaces de la flore et de la faune sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

La grille d'analyse des enjeux à l'échelle régionale est présentée dans le tableau 6-10.

6.1.8.3 Évaluation des enjeux à l'échelle de l'aire d'étude immédiate

Une fois l'enjeu régional qualifié, il est affiné afin de prendre en compte la réalité spécifique des zones d'implantation du projet.

À l'échelle locale, les enjeux définis au niveau régional peuvent être modulés (dans un sens ou dans l'autre), en fonction des critères suivants :

- la présence de l'espèce patrimoniale sur le site : anecdotique, ponctuelle, régulière, etc. et en période de reproduction, hivernale, de migration, estivale… ;
- l'effectif de l'espèce patrimoniale ;
- l'utilisation du site et de son habitat d'espèce : habitat d'alimentation, habitat de reproduction, habitat de repos, arbres gîtes (cf. Chapitre 6.1.9 du présent volume) ;
- l'utilisation des corridors écologiques ;
- le dire d'expert basé sur des retours d'expériences ou son « ressenti terrain ».

  Dans certains cas, la multiplicité des menaces à l'échelle européenne, nationale, régionale peut amener à rehausser le niveau d'enjeu. Par exemple, si une espèce est vulnérable (enjeu moyen) aux trois échelles, un niveau fort peut être appliqué.

[29] http://www.vigienature.fr/

Tableau 6-10 Documents de référence pour la définition du statut de rareté ou menace de la flore et la faune

Niveau européen	Niveau national	Niveau régional
Habitats naturels, flore, bryophytes		
« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (Bensettiti *et al.*, 2001(131), 2002 (132–134), 2004 (135, 136), 2005 (137))	La liste rouge des espèces menacées en France : Flore vasculaire de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle; Agence française pour la biodiversité; FCBN (2018).(138)	Liste rouge régionale de la flore vasculaire de Lorraine (Pole Lorrain du futur Conservatoire botanique national du Nord-Est, 2015 (122))
European Red List of Vascular Plants (Bilz *et al.*, 2011 (139))	Liste rouge des orchidées de France métropolitaine (UICN France, MNHN FCBN & SFO, 2009 (140))	Liste rouge de Champagne-Ardenne, Flore vasculaire 2018 (141)
		Atlas de Floraine (142)
Insectes		
European Red List of dragonflies (Kalkman *et al.*, 2010 (143))	Liste rouge des Papillons de jour de France métropolitaine (UICN France, MNHN, OPIE & SEF, 2012 (144))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Insectes (Coppa *et al.*, 2007 (145))
European Red List of saproxilics beetles (Nieto et Alexander, 2010 (146))	Liste rouge des Libellules de France métropolitaine (UICN France, MNHN, OPIE et SFO, 2016 (147))	Guide méthodologique pour la modernisation de l'inventaire ZNIEFF en Lorraine (Gaillard & Jager, 2012 (148, 149))
European Red List of Grasshoppers, Crickets and Bush-crickets (Hochkirch *et al.*, 2016 (150))	Les orthoptères menacés de France. Liste rouge nationale et liste rouge par domaine biogéographique (Sardet et Defaut, 2004 (151))	
« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (Bensettiti et Gaudillat, 2002 (134))		
Reptiles - amphibiens		
European Red List of Reptiles (Cox et Temple, 2009 (152))	Liste rouge Reptiles et Amphibiens de France métropolitaine (UICN France, MNHN et SHF, 2015 (153))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Amphibiens (Cart, 2007 (149))
European Red List of Amphibiens (Temple et Cox, 2009 (154))		Liste rouge Champagne-Ardenne – Reptiles (Grange et Mionnet, 2007 (155))
« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (Bensettiti et Gaudillat, 2002 (134))		Liste rouge des amphibiens et reptiles de Lorraine (Aumaître & Lambrey, 2016 (156))
Oiseaux		
European Red List of Birds (Birdlife International, 2015 (157))	Liste rouge des Oiseaux de France métropolitaine (UICN France, MNHN, LPO, SEOF et ONCFS, 2016 (158))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Oiseaux nicheurs (Fauvel *et al.*, 2007 (159))
		Guide méthodologique pour la modernisation de l'inventaire ZNIEFF en Lorraine (Gaillard et Jager, 2012 (148))
Mammifères		
« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (Bensettiti et Gaudillat, 2002 (134))	Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine. UICN France, MNHN, SFEPM & ONCFS (2017 (160))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Mammifères (Bécu *et al.*, 2007 (161))
		Guide méthodologique pour la modernisation de l'inventaire ZNIEFF en Lorraine (Gaillard et Jager, 2012 (148))

Tableau 6-11 Grille d'analyse pour l'appréciation des enjeux de préservation des espèces

Enjeu	Principales caractéristiques
Très fort **De portée nationale à supranationale**	**Faune :** • présence d'au moins une espèce très rare et/ou très menacée de faune (= liste rouge UICN régionale ou nationale : CR, EN et RR à RRR) ; • présence d'au moins un milieu favorable au groupe biologique considéré ; • espèce inscrite à l'annexe II ou IV de la directive habitats (116) et à l'annexe I de la directive oiseaux (162) ; • espèce emblématique ou pouvant faire l'objet d'un plan national d'action. **Habitats et flore :** • habitat d'intérêt communautaire prioritaire au titre de la directive Habitat en bon état de conservation ; • habitat (semi-)naturel extrêmement rare dans la région administrative du site d'étude ; • présence d'au moins une espèce très menacée de flore (= liste rouge UICN régionale ou nationale : CR, EN et/ou RRR).
Fort **Enjeu de portée régionale à suprarégionale**	**Faune :** • présence d'au moins une espèce rare et/ou menacée (= liste rouge UICN régionale ou nationale : EN, CR, et/ou R) ; • présence d'au moins un milieu favorable au groupe biologique considéré ; • espèce déterminante ZNIEFF niveau 1 (espèce prioritaire) ; • espèce inscrite à l'annexe II ou IV de la directive habitats ; • espèce inscrite à l'annexe I de la directive oiseaux ; • espèce pouvant faire l'objet d'un plan national d'action. **Habitats et flore :** • habitat naturel d'intérêt communautaire prioritaire en état de conservation moyen, ou habitat d'intérêt communautaire en bon état de conservation ; • habitat (semi-)naturel très rare dans la région administrative du site d'étude en bon état de conservation ; • habitat ou espèce déterminant ZNIEFF de niveau 1 (très rare) ; • présence d'au moins une espèce menacée de flore (= liste rouge UICN régionale ou nationale : NT, VU et/ou RRR.
Moyen/Modéré **Enjeu de portée départementale à supra-départementale**	**Faune :** • cortège(s) associé(s) principalement constitué(s) d'espèces communes, présence de quelques espèces moins fréquentes (= liste rouge UICN régionale ou nationale : NT, VU, et/ou AR, AS, AP, R, RR) ; • espèces communes (TC, C, AC, PC) non concernées ; • présence d'au moins un milieu favorable au groupe biologique considéré (secteur dominé par les milieux naturels spontanés) ; • espèce déterminante ZNIEFF niveau 2 (espèce rare) ; • espèce inscrite à l'annexe II ou IV de la directive habitats ; • espèce inscrite à l'annexe I de la directive oiseaux. **Habitats et flore :** • habitat naturel d'intérêt communautaire en mauvais état de conservation ; • habitat (semi-)naturel rare dans la région administrative et en bon état de conservation ; • présence d'au moins une espèce rare mais non menacée de flore (= liste rouge UICN régionale ou nationale : LC et RR) ou présence d'un habitat ou d'une espèce déterminante de ZNIEFF de niveau 2 (espèce rare).
Faible **Enjeu de portée locale, à l'échelle d'un ensemble cohérent du paysage écologique (vallée, massif forestier, etc.)**	**Faune :** • espèces ou cortège(s) associé(s) constitué(s) d'espèces communes (= liste rouge UICN régionale ou nationale : LC, TC, C, AC, PC) ; • présence d'au moins un milieu favorable au groupe biologique considéré (secteur occupé par une mosaïque de milieux naturels et de milieux artificiels) ; • espèce déterminante ZNIEFF de niveau 3 (moins rare).

Enjeu	Principales caractéristiques
	Habitats et flore : • habitat (semi-) naturel rudéralisé rare à très commun dont la flore est rendue banale et commune ; • présence d'espèces de flore communes rares à assez rares mais non menacées ; • habitat ou espèce déterminant ZNIEFF de niveau 3 (moins rare).
Très faible **Enjeu de portée locale, à l'échelle de la seule entité (parc, square, etc.)**	**Faune :** • absence de milieu favorable au groupe biologique considéré, qui est donc présumé absent du fuseau d'étude.
	Habitats et flore : • milieu très artificialisé (route, parking goudronné…) peu favorable à la biodiversité.

***Légende** : **CR :** en danger critique d'extinction, **EN** : en danger, **VU** : vulnérable, **NT** : quasi-menacé, **LC** : préoccupation mineure, **TC** : très commun, **C** : commun, **AC** : assez commun, **PC** : peu commun, **AR** : assez rare, **R** : rare, **RR** : très rare, **RRR** : extrêmement rare, **AS** : à surveiller, **AP** : à préciser.*

6.1.9 Appréciation des niveaux d'intérêt des habitats d'espèces

Chaque catégorie d'habitat se voit appliquée un niveau d'intérêt compris entre 0 et 4 à la fois sur les sites impactés et sites de compensation pour chaque groupe et chaque cortège. La grille, ci-dessous, est une aide à la qualification du niveau d'intérêt de chaque type d'habitat d'espèce. Elle se base sur plusieurs critères qui ont permis de qualifier :

- sa fonctionnalité (habitat de reproduction, déplacement, alimentation, hivernage, migration), c'est-à-dire le rôle que joue cet habitat dans le cycle de vie d'une espèce ;
- l'état de conservation de l'habitat (dégradé, altéré, moyen, bon, optimal) et la capacité de celui-ci à assurer les fonctions suffisantes à une espèce pour lui permettre d'accomplir son cycle de vie ;
- le degré d'isolement de l'habitat dans le contexte écologique plus large ;
- la diversité et la densité d'espèces observées.

Ainsi pour chaque cortège des référentiels de niveaux d'intérêt ont été définit sur la base des exigences écologiques de chaque espèce (niche écologique théorique) (selon la bibliographie).

Dans l'exemple ci-dessous pour le cortège des oiseaux des fourrés et haies en milieu ouvert, chaque catégorie des grands types d'habitats a été notée en fonction de l'intérêt qu'il procure pour le cortège en question. Les milieux boisés étant moins intéressant que les milieux de type buissons, haies ou encore pelouses et prairies de fauches pour l'accomplissement du cycle biologique de ce cortège.

L'ensemble des grilles de qualification des niveaux d'intérêt par grande catégorie d'habitats et par cortège est présenté en annexe 8.3 du présent volume.

- **cas spécifique pour les oiseaux des milieux ouverts/semi-ouverts**

Le cortège est composée essentiellement d'espèces ayant besoin d'éléments arbustifs pour se reproduire, associé à des éléments herbacés voire agricoles pour l'alimentation. Les modes d'exploitation des milieux agricoles conditionnent la richesse et l'abondance des espèces. Aussi selon l'écologie de certaines espèces, les milieux agricoles même intensifs, bordés d'éléments arbustifs peuvent tout de même être fréquentés par ces espèces pour l'alimentation. Les domaines vitaux des espèces du cortège sont en moyenne de 1-2 ha (ex : Verdier d'Europe, Pie-grièche écorcheur, Linotte mélodieuse). Il a donc été décidé, en consensus avec Neomys, de définir un rayon de 100 autour des cantonnements ; que représentent les éléments arbustifs et arborés pour les principales espèces de ce cortège.

- **cas spécifique pour les amphibiens et leurs zones de reproduction**

Chez les amphibiens, le fonctionnement en métapopulation est primordial, en permettant de compenser les extinctions locales par le recrutement d'individus issus d'immigration. Les amphibiens ont en effet besoin de plusieurs milieux pour réaliser leur cycle de vie. Pour la majorité des espèces, les mares ne sont fréquentées qu'une partie de l'année pour leur reproduction et le développement des têtards et des larves. Les amphibiens ont aussi besoin de terrain de chasse, de sites d'estivation et enfin de sites d'hibernation. Les mouvements sont donc réguliers entre les différents sites. Le paysage et l'implantation des mares en son sein jouent donc un rôle primordial. Les capacités de dispersion des amphibiens sont généralement inférieures à 400 mètres, même si dans certains cas plusieurs kilomètres peuvent être parcourus (ex dans notre cas : Crapaud commun, Pélodyte ponctué, Grenouille rousse). La plupart des populations d'amphibiens restent concentrées dans un périmètre de 200-300 mètres autour du biotope de reproduction. Au regard des espèces d'amphibiens au sein de la zone d'étude, il a été décidé de retenir un tampon 300 m d'habitats terrestres, autour des mares.

Dès lors que ces référentiels ont été construits et que les habitats d'espèces ont été caractérisés selon cette classification, les niveaux d'intérêts ont été appliqués en fonction de l'habitat identifié sur le terrain pour chaque cortège (approche déductive). Toutefois, dans la pratique, des dégradations d'un niveau d'intérêt ont pu avoir lieu en fonction de divers paramètres (approche inductive) :

- ✓ la surface et structure de l'habitat qui sont soient :
  - trop restreinte et qui ne peut être le support des fonctionnalités et exigences écologiques des espèces du cortège ; tel que l'optimum défini dans le référentiel ;
  - trop importante entrainant une dispersion ou déplacement contrainte des espèces par rapport à des éléments structurants de leur domaine vital (ex : une prairie d'un seul tenant de plusieurs dizaines d'hectares dont le cœur de parcelle sera difficilement exploitable pour des reptiles – exposés à une prédation forte ;
  - un habitat linéaire qui ne pourrait pas jouer les mêmes fonctions qu'une disposition non linéaire ;
- ✓ le contexte environnemental dans lequel s'insère l'habitat : isolement d'une pelouse au sein d'un continuum boisé, fragmentation et/ou barrières anthropiques… ;
- ✓ des menaces diverses pesant sur l'habitat (influence de l'agriculture intensive à proximité, dégradation du gibier…) ;
- ✓ une fréquentation humaine entrainant un dérangement… ;
- ✓ le mode de gestion actuelle de la parcelle accueillant l'habitat, entrainant des perturbations et contraignant l'installation du cortège d'espèces ou de certaines espèces (débroussaillage répété… etc.).

6.1.10 Synthèse de la démarche d'analyse de l'état initial du milieu naturel

La démarche globale d'analyse des enjeux est présentée sur le schéma ci-dessous (cf. Figure 6-26)

Cette démarche correspond à l'étape 1 de la méthode de calcul de la dette compensatoire écologique décrite au chapitre 6.3.3 du présent volume

Tableau 6-12 Exemple de référentiel de niveau d'intérêt défini pour le cortège des oiseaux

I0	très faible
I1	faible
I2	moyen
I3	fort
I4	très fort

E. Bandes bo	F. Peuplements forestiers de feuil	G. Plantation d	H. Plantations monospéci	I. Milieux semi-ouverts a	J. Végétatio	K. Buissons, g	L. Haies méla	M. Pelouses	N. Prairies i	O. Prairies de f
Ea	Fa	Ga	Ha	Ia	Ja	Ka	La	Ma	Na	Oa
Eb	Fb	Gb	Hb	Ib	Jb	Kb	Lb	Mb	Nb	Ob
Ec	Fc	Gc	Hc	Ic	Jc	Kc	Lc	Mc	Nc	Oc
Ed	Fd		Hd	Id	Jd	Kd	Ld			
	Fe									
	Ff									
	Fg									

CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-21-0525-A

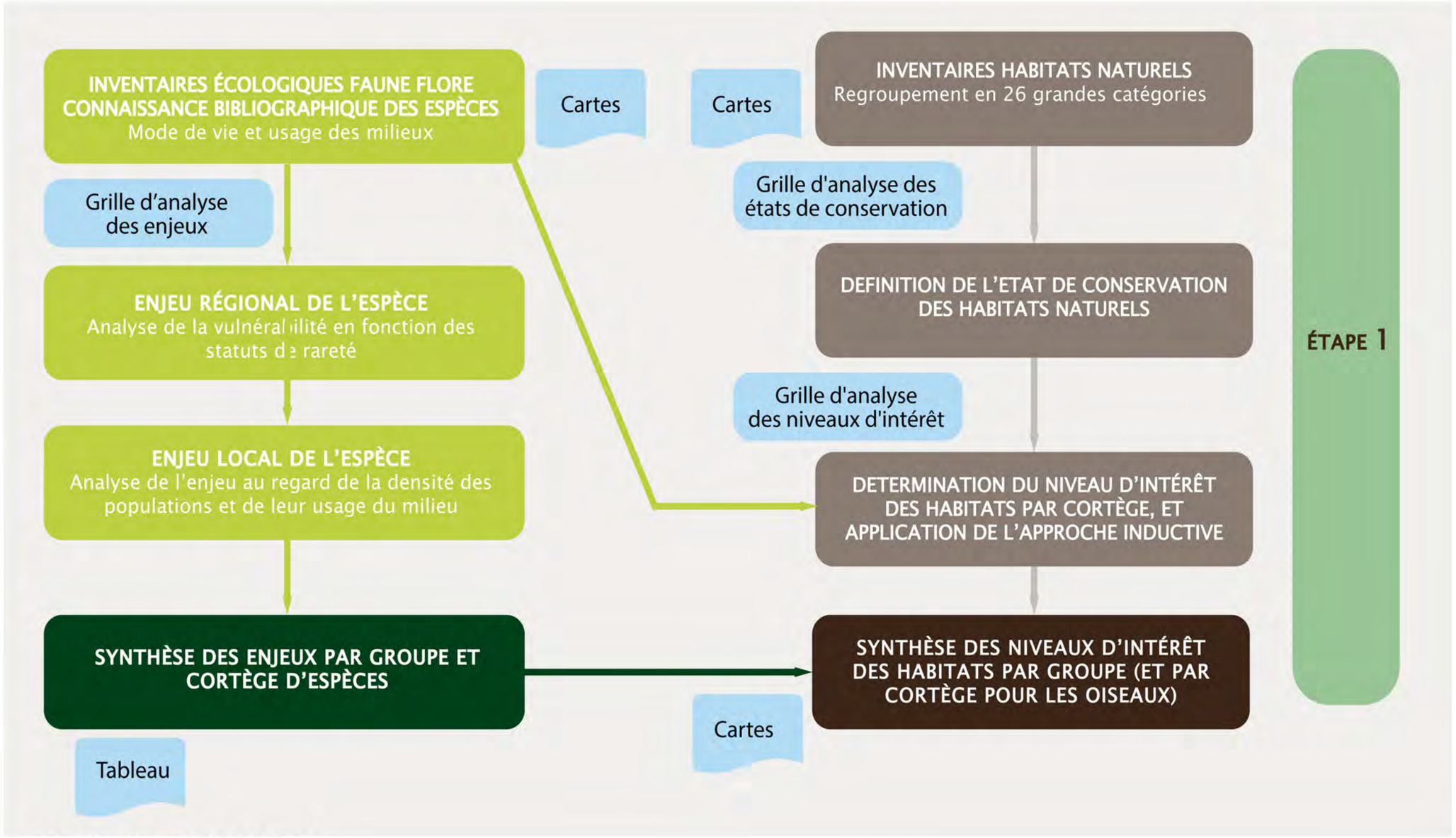


Figure 6-26 Schéma de la démarche d'analyse des enjeux écologiques

Tableau 6-13 Grille d'aide à la qualification du niveau d'intérêt de chaque type d'habitat d'espèce

Groupes	I0 : Très faible	I1 : Faible	I2 : Moyen	I3 : Fort	I4 : Très fort
Insectes	Intérêt très faible lié à un état dégradé ou altéré et/ou, pas d'intérêt spécifique du milieu pour l'espèce/le groupe considéré. Habitat étant utilisé uniquement de façon anecdotique. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique pour l'espèce/le groupe considéré. Aucune espèce patrimoniale et/ou très faible diversité et densité d'espèces communes.	Intérêt faible lié à un état de conservation altéré et/ou, Habitat dont l'utilisation est limitée au déplacement/transit. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique pour l'espèce/le cortège considéré.	Intérêt moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone reproduction/refuge dans un contexte dégradé alentour ; et/ou habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation privilégiée.	Intérêt fort. Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie pour l'espèce/le cortège considéré. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction et d'alimentation (notamment, secteurs de plantes hôtes pour les papillons, cours d'eau favorable à la ponte…). Et/ou cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniale (secteur abritant une diversité de coléoptères saproxyliques importantes).	Habitat optimum à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit).
Amphibiens	Intérêt très faible lié à un état dégradé ou altéré et n'étant pas utilisé ou seulement de manière anecdotique pour le cortège d'espèces. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique. Aucun habitat de reproduction.	Intérêt faible lié à un état de conservation altéré, et/ou, habitat dont l'utilisation est limitée au déplacement/transit ; non préférentiel pour le cortège d'espèces. Il peut s'agir d'habitat aquatique comme des fossés (transit) ou des habitats terrestres d'hibernation.	Intérêt moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone de reproduction/refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation privilégiée pour le cortège d'espèce. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage (non diffus).	Intérêt fort. Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction typique, d'alimentation Habitat de reproduction pouvant accueillir un cortège typique d'espèces cibles avec une bonne densité.	Habitat optimum à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction en densités élevés, alimentation, transit), et/ou avec des habitats d'hivernage alentours.
Reptiles	Intérêt très faible lié à un état dégradé ou altéré et n'étant pas utilisé ou seulement de manière anecdotique pour le cortège d'espèces. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique. Aucun habitat de reproduction.	Intérêt faible lié à un état de conservation altéré, et/ou, habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit ; non préférentiel pour le cortège d'espèces. Il peut s'agir d'habitat de reproduction ou d'hibernation.	Intérêt moyen. Il peut s'agir habitat de substitution assimilé à une zone de reproduction/refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation privilégiée pour le cortège d'espèce. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé pour de l'hivernage.	Intérêt fort. Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation Habitat de reproduction pouvant accueillir un cortège typique d'espèces cibles en bonne densité.	Habitat optimum à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et avec des habitats d'hivernage alentours ; avec des fortes densités.
Oiseaux	Intérêt très faible lié à un état dégradé ou altéré et n'étant pas utilisé ou seulement de manière anecdotique pour le cortège d'espèces. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique. Aucun habitat de reproduction.	Intérêt faible lié à un état de conservation altéré, et/ou, habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit ; non préférentiel pour le cortège d'espèces. Il peut s'agir d'habitat de reproduction ou d'hibernation.	Intérêt moyen. Il peut s'agir habitat de substitution assimilé à une zone de reproduction/refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation privilégiée pour le cortège d'espèce. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé pour de l'hivernage.	Intérêt fort. Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation Habitat de reproduction pouvant accueillir un cortège typique d'espèces cibles en bonne densité.	Habitat optimum à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et avec des habitats d'hivernage alentours ; avec des fortes densités.
Chauves-souris	Intérêt très faible lié à un état dégradé ou altéré et n'étant pas utilisé ou seulement de manière anecdotique pour le cortège d'espèces. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique. Aucun gîte présent sur le site Très peu voire aucun habitat de transit. Les habitats de chasse étant peu exploitables.	Intérêt faible. Habitat permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel le cortège d'espèce. La chasse est également très limitée et l'activité enregistrée est faible ou concerne uniquement des espèces plastiques Aucun gîte n'est présent sur le site.	Intérêt moyen lié à un habitat de substitution assimilée à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation privilégiée pour le cortège d'espèces. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage, et/ou quelques gîtes de types arboricoles peuvent être présents. L'activité pour certaine espèce du cortège considéré peut-être bonne en chasse.	Intérêt fort. Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation. Bonne disponibilité en gîte. Niveau d'activité pressentie important.	Habitat optimum à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit) ; très forte disponibilité en gîte (que ce soit en densité ou diversité), et/ou Présence de plusieurs espèces d'intérêt et cortège typique.
Mammifères	Intérêt très faible lié à un état dégradé ou altéré et n'étant pas utilisé ou seulement de manière anecdotique pour le cortège d'espèces. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique. Très peu voire aucun habitat de transit. Les habitats de chasse étant peu exploitables.	Intérêt faible. Habitat permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel le cortège d'espèce. La chasse est également très limitée.	Intérêt moyen lié à un habitat de substitution assimilée à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation privilégiée pour le cortège d'espèces. L'activité pour certaine espèce du cortège considéré peut-être bonne en chasse.	Intérêt fort. Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation, et/ou habitat jouant un rôle majeur dans les déplacements et dispersion de l'espèce à l'échelle locale ou régionale (SRCE par exemple), et/ou cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniales.	Habitat optimum à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et avec des habitats d'hivernage alentours ; avec des fortes densités.

6.2 Incidences sur le milieu naturel

L'évaluation des incidences sur le milieu naturel est réalisée sur la base de l'état initial du milieu naturel et des caractéristiques du projet.

Les incidences en phase travaux et en phase de fonctionnement sont distinguées.

6.2.1 Effets du projet sur l'environnement

Les incidences d'un projet d'aménagement sur le milieu naturel sont potentiellement multiples : destruction d'habitats naturels ou d'habitats d'espèces, destruction d'espèces végétales ou animales, coupure de continuités écologiques, dérangement de la faune… À noter que sont également prises en compte les incidences qui peuvent être considérées comme neutres (sans conséquence sur la biodiversité) ou positives (impacts bénéfiques sur le milieu naturel).

Les incidences du projet global Cigéo sur le milieu naturel peuvent concerner :

- les **zonages environnementaux** présents au sein de l'aire d'étude éloignée, et plus particulièrement les espèces et/ou habitats déterminants de ces zonages ;
- les **zones humides** : le rejet des eaux pluviales et d'effluents sur le milieu ainsi que le prélèvement d'eaux souterraines peuvent avoir une incidence sur le fonctionnement hydraulique des cours d'eau (inondation, perturbation de la biodiversité, modification des conditions hydromorphologiques des cours d'eau, etc.), et de manière indirecte sur le fonctionnement des zones humides en lien avec ces cours d'eau.

  Les incidences sur les zones humides peuvent également être directes (destruction ou dégradation directe, par exemple du fait des fouilles archéologiques, par la réalisation des remblais des rampes des ouvrages d'art) ou indirectes, du fait d'une interruption des continuités hydrauliques ou écologiques ;
- les **continuités écologiques** : le projet global Cigéo s'inscrit dans une mosaïque d'habitats agricoles et boisés. Dans ce paysage, des continuités écologiques traversant l'aire d'étude éloignée interconnectent entre elles des réservoirs de biodiversité, liés aux milieux ouverts, boisés et humides et sont en interaction potentielle avec le projet. À un niveau plus local, la construction puis l'exploitation du projet global Cigéo a des incidences sur les déplacements des espèces observées lors des prospections de terrain. La construction puis le fonctionnement des infrastructures linéaires (routes, voies ferrées) ainsi que la mise en place de clôtures autour des installations de surface constituent des obstacles au déplacement des espèces terrestres. De même, les défrichements peuvent entraîner une fragmentation des habitats ou la modification des fonctionnalités dans l'aire d'étude immédiate ;
- les **espèces et habitats**, selon les cinq grandes catégories d'effets suivantes :

  ✓ **la destruction/dégradation des habitats d'espèces**

  La destruction ou la dégradation d'un habitat d'espèces n'aura pas la même importance si ce dernier représente une étape clef dans son cycle biologique. En effet, on distingue différents types d'habitats d'espèces qui revêtent une importance plus ou moins grande en fonction des espèces :

  - les territoires de reproduction concernent les espèces susceptibles de se reproduire dans les différents habitats considérés comme favorables. La destruction des sites de reproduction peut entraîner la destruction des individus qui y sont associés si les travaux interviennent durant les périodes sensibles de reproduction et d'élevage des jeunes ;
  - les aires de repos concernent des aires d'estivage, d'hivernage ou de haltes (migratoires ou non) mais aussi de thermorégulation, de toilettage, de repos journalier ou de toute autre activité non dynamique. Elles sont nécessaires à la survie des espèces même si leurs caractéristiques sont parfois moins spécifiques que pour les zones de reproduction ;
  - les territoires de chasse et de déplacements linéaires ou surfaciques (forêts, espaces de lisière et haies, points d'eau, cours d'eau, vergers, milieux ouverts…) sont bien évidemment nécessaires à l'alimentation, mais aussi au déplacement des espèces entre les aires citées précédemment. La réduction de leur surface peut limiter la survie et la réussite de la reproduction et donc la taille des populations ;

  ✓ **la destruction d'individus**

  La destruction d'individus concerne principalement les phases de travaux (aménagements préalables et construction initiale). De par son activité et la mise à nu des terrains, le chantier devient généralement peu favorable aux espèces animales qui perçoivent une perturbation de leur environnement. La plupart des espèces va donc s'éloigner durant cette période, limitant ainsi le risque de destruction d'individus.

  Néanmoins, il existe des cas de figure où les risques sont accrus ou restent toujours importants :

  - la zone du chantier peut constituer une zone de passage obligatoire pour la migration de certaines espèces notamment les amphibiens ;
  - cette zone dénudée peut être attractive pour les espèces dites pionnières qui cherchent de nouveaux secteurs à coloniser (exemple des amphibiens comme l'Alyte accoucheur) ;
  - le chantier peut aussi servir de zone de thermorégulation pour les reptiles ce qui multiplie les risques d'écrasement.

  La méthode de quantification est la suivante :

  - prise en compte, dans le calcul des surfaces à risque pour la destruction d'individus, les surfaces d'habitats naturels par cortège selon les niveaux d'intérêt des habitats où les espèces protégées et/ou patrimoniales sont concernées par l'emprise totale du site ;
  - quantification précise du nombre d'individus de ponte ou de juvéniles impactés par les travaux est délicate. De ce fait, il a été retenu une fourchette minimale à maximale des individus observés ;

  ✓ **la perturbation d'individus**

  Les chantiers génèrent un dérangement propre qui peut conduire à la modification, voire à un arrêt temporaire de la fréquentation du site par les espèces les plus sensibles.

  Le dérangement peut être lié à la circulation des engins de chantier, au défrichement, aux terrassements, au bruit (oiseaux notamment) ou à la lumière lors des travaux nocturnes (chiroptères notamment).

  Dans une moindre mesure, le dérangement des espèces peut également se poursuivre pendant la phase d'exploitation, en lien avec les activités du site : bruit, éclairage de nuit etc. ;

  ✓ **la dégradation des fonctionnalités écologiques**

  Les emprises des constructions et les clôtures mises en place peuvent entraîner la rupture des corridors écologiques préexistants, la fragmentation des habitats ou la modification des fonctionnalités de la zone ;

  ✓ **l'altération potentielle de la qualité chimique des milieux**

  Il s'agit notamment des risques d'effets par pollution des milieux lors des travaux et secondairement, en phase de fonctionnement des installations lors d'entretien par exemple). Il peut aussi s'agir de pollutions accidentelles par polluants chimiques (huiles, produits d'entretien…) ou par apports de matières en suspension (particules fines) :

  - les **pollutions conventionnelles potentielles des milieux naturels**, en lien avec les émissions chimiques liquides et atmosphériques du projet global Cigéo ;
  - les **effets potentiels des rayonnements** sur les organismes vivants.

  Les effets potentiels des rejets radioactifs du centre de stockage Cigéo sur les espèces présentes sont caractérisés par le calcul du risque radiologique. La méthode adoptée par l'Andra pour évaluer le risque radiologique sur la faune et la flore sauvages, associé aux émissions radioactives du projet global Cigéo, est basée sur l'utilisation de l'approche ERICA et de l'outil associé, développés et utilisés au niveau européen depuis les années 2000 (163, 164). L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a participé à ce développement.

  La démarche est similaire à celle de l'évaluation du risque radiologique sur la santé humaine. À partir du contexte et des données environnementales disponibles, de l'évaluation des émissions radioactives du projet global et de leur dispersion, il s'agit d'analyser l'exposition des organismes en termes de dose absorbée et de caractériser le risque en comparant l'exposition des organismes, *via* l'indicateur du débit de dose absorbée, au débit de dose absorbé sans effet attendu de 10 µGy/h, défini au niveau européen (163).

Tableau 6-14 Effets génériques de ce type de projet sur la faune et la flore

Types d'effets	Caractéristiques de l'effet	Principaux groupes et périodes concernés
Phase travaux (aménagements préalables et construction initiale)		
Destruction ou dégradation physique des habitats naturels et habitats d'espèces Cet effet résulte des travaux de défrichement, de fouilles et de terrassements sur la zone d'intervention potentielle qui vont entraîner la destruction des habitats naturels et habitats d'espèces (zones de reproduction, territoires de chasse, zones de transit). Les travaux peuvent également induire le développement des espèces exotiques envahissantes ou des perturbations hydrauliques...	• direct ; • permanent (destruction) ; • temporaire (dégradation) ; • à court terme.	Tous les habitats naturels et habitats d'espèces situés dans la zone d'intervention potentielle du projet
Destruction des individus Cet effet résulte du défrichement et des terrassements sur la zone d'intervention potentielle du projet qui entraînent des collisions avec les engins de chantier, un écrasement, un piétinement...	• direct ; • permanent (à l'échelle du projet) ; • à court terme.	Toutes les espèces de flore situées dans la zone d'intervention potentielle du projet. Toutes les espèces de faune peu mobiles situées dans l'emprise du projet, en particulier les oiseaux (œufs et poussins), les mammifères (au gîte, lors de leur phase de léthargie hivernale ou les jeunes), les insectes (œufs et larves), les reptiles, les amphibiens, les mollusques, les crustacés, les poissons (œufs).
Perturbation des individus Il s'agit d'un effet par dérangement de la faune lors des travaux (perturbations sonores ou visuelles). Le déplacement et l'action des engins entraînent des vibrations, du bruit ou des perturbations visuelles (mouvements, lumière artificielle) pouvant présenter de fortes nuisances pour des espèces faunistiques.	• direct ou indirect ; • temporaire (durée des travaux) ; • à court terme.	Toutes les espèces de faune et particulièrement les mammifères et les oiseaux nicheurs et hivernants.
Altération biologique et chimique des milieux Il s'agit notamment des risques d'effets par pollution des milieux lors des travaux (et secondairement, en phase d'entretien). Il peut s'agir de pollutions accidentelles par polluants chimiques (huiles, produits d'entretien...) ou par apports de matières en suspension (particules fines) lors des travaux de terrassement notamment.	• direct ; • temporaire (durée d'influence variable selon les types de pollution et l'ampleur) ; • à court terme (voire moyen terme).	Toutes les espèces végétales et particulièrement la flore aquatique. Toutes les espèces de faune et particulièrement les espèces aquatiques (poissons, mollusques, crustacés et amphibiens)
Dégradation des fonctionnalités écologiques Cet effet concerne la rupture des corridors écologiques et la fragmentation des habitats.	• direct ; • permanent ; • durant toute la vie du projet.	Toutes les espèces de faune et particulièrement les mammifères, les amphibiens et les reptiles.
Phase de fonctionnement		
Destruction ou dégradation physique des habitats naturels et habitats d'espèces Cet effet résulte de l'entretien des milieux associés au projet.	• direct ; • permanent (destruction) ; • temporaire (dégradation) • à court terme	Tous les habitats naturels et toutes les espèces situées dans la zone d'intervention potentielle du projet.
Destruction des individus Il s'agit d'un effet par collision d'individus de faune avec les véhicules ou les câbles électriques. Cet effet résulte également de l'entretien et du piétinement des milieux associés au projet.	• direct ; • permanent (à l'échelle du projet) ; • durant toute la vie du projet.	Toutes les espèces de faune et particulièrement les mammifères et les oiseaux nicheurs et hivernants.
Perturbation des espèces Il s'agit d'un effet par dérangement de la faune (perturbations sonores ou visuelles) du fait de l'utilisation du site ou de l'infrastructure.	• direct ou indirect ; • temporaire (durée des travaux) ; • durant toute la vie du projet.	Toutes les espèces de faune et particulièrement les mammifères et les oiseaux nicheurs et hivernants.

Types d'effets	Caractéristiques de l'effet	Principaux groupes et périodes concernés
Altération biochimique des milieux Il s'agit notamment des risques d'effets par pollution des milieux. Il peut s'agir de pollutions accidentelles par polluants chimiques (huiles, produits d'entretien...) ou par apports de matières en suspension (particules fines).	• direct ou indirect ; • temporaire (durée d'influence variable selon les types de pollution et l'ampleur) ; • à court terme (voire moyen terme).	Toutes périodes. Habitats naturels. Tous groupes de faune et de flore.
Dégradation des fonctionnalités écologiques Cet effet concerne la rupture des corridors écologiques et la fragmentation des habitats.	• direct ; • permanent ; • durant toute la vie du projet.	Toutes les espèces de faune et particulièrement les mammifères, les amphibiens et les reptiles.

6.2.2 Évaluation des niveaux d'incidences

Le niveau d'incidences (potentielle et résiduelle) dépend du niveau d'enjeu (identifié dans l'état initial), ainsi que de l'intensité de l'effet sur une ou plusieurs composantes du milieu naturel.

Les niveaux d'incidences sont évalués selon les critères suivants :

- caractéristiques propres à l'effet considéré ;
  - ✓ type d'effet (effet direct ou indirect : destruction, dégradation, dérangement…) ;
  - ✓ période d'occurrence (en ou hors période de vulnérabilité) ;
  - ✓ durée de l'effet (effet temporaire/réversible, effet permanent/irréversible ;
  - ✓ intensité de l'impact (pollution diffuse, destruction totale…) ;
- contrainte réglementaire (indication si un groupe relève d'une contrainte réglementaire) ;
- niveau d'enjeu de préservation de l'élément concerné par l'effet ;
- autres caractéristiques propres à l'élément concerné par l'effet :
  - ✓ nature précise de l'élément (habitat d'espèces, individus…) ;
  - ✓ surface/longueur relative concernée ;
  - ✓ effectif relatif concerné ;
  - ✓ sensibilité immédiate de l'élément impacté à l'effet ;
  - ✓ capacité d'auto-régénération (résilience) de l'élément impacté après l'impact, sur l'aire d'étude ;
- contexte environnemental du projet (éléments de nature à réduire ou à augmenter localement la probabilité d'occurrence de l'effet).

Sur la base de ces critères, un niveau d'impact est évalué, par type d'effet et par composante du milieu naturel.

Les **incidences potentielles** sont évaluées selon deux niveaux :

- non notable : lorsque l'incidence n'est pas de nature à remettre en cause l'état de conservation et/ou le cycle biologique des habitats ni des espèces ;
- notable : à l'inverse, lorsque l'altération des habitats et des espèces remet en cause leur état de conservation et/ou leur cycle biologique.

Les **incidences résiduelles** sont évaluées suivant six niveaux (cf. Tableau 6-15) :

Tableau 6-15 Niveau d'incidence résiduelle et éléments d'appréciation

Niveau d'incidence	Éléments d'appréciation
Positif	Amélioration directe ou indirecte du milieu générée par la réalisation du projet.
Très faible	Altération nulle ou marginale du milieu naturel.
Faible	Altération d'habitats ou d'espèces qui ne remet pas en cause son état de conservation et/ou son cycle biologique.
Moyen/modéré	Destruction ou dégradation d'habitats ou d'espèces à enjeu faible à moyen, susceptible de remettre en cause une partie du cycle biologique de l'espèce (ex : alimentation) et d'altérer l'état de conservation d'une partie de son habitat. Porte sur des espèces ou habitats d'intérêt départemental.
Fort	Destruction ou dégradation importante d'habitats ou d'espèces à enjeux moyen à fort, qui remet en cause le cycle biologique d'une espèce et/ou l'état de conservation de son habitat. Porte sur des espèces ou habitats présentant **un intérêt régional.**
Très fort	Destruction ou dégradation très importante d'habitats ou d'espèces à enjeu fort à très fort, qui remet en cause le cycle biologique d'une espèce et/ou de l'état de conservation de son habitat. Porte sur des espèces ou habitats présentant un intérêt régional ou national.

6.2.3 Incidences sur les zonages environnementaux

Les incidences du projet global Cigéo sur les zonages environnementaux sont étudiées sur la base de l'identification des zonages présents au sein de l'aire d'étude éloignée (cf. Chapitre 6 du volume III de la présente étude d'impact).

L'évaluation des incidences sur les zonages environnementaux porte plus particulièrement sur les espèces et/ou les habitats ayant justifiés la désignation des sites Natura 2000, afin de déterminer si ceux-ci sont impactés directement ou indirectement par le projet.

La méthode d'évaluation des incidences sur les sites Natura 2000 est développée au chapitre 6.4 du présent volume.

6.2.4 Incidences sur les zones humides

Les incidences du centre de stockage Cigéo sur les zones humides sont étudiées sur la base de l'identification des zones humides présentée dans l'état initial de l'environnement (volume III de la présente étude d'impact) et des caractéristiques du projet.

Les incidences portent sur :

- la destruction directe de zones humides (remblaiement, excavation, destruction de végétation humide) ;
- la dégradation de zones humides (pollution du sol, dégradation de végétation humide) ;
- les incidences indirectes (modification de l'alimentation en eau).

Le niveau d'incidence dépend de la surface des zones humides impactées, de ses fonctionnalités, ainsi que de l'intensité de l'impact. Les niveaux d'impact sont évalués selon les critères suivants :

- caractéristiques propres à l'impact considéré :
  - ✓ type d'impact (impact direct ou indirect : destruction, dégradation) ;
  - ✓ durée de l'impact (impact temporaire/réversible, impact permanent/irréversible) ;
  - ✓ intensité de l'impact (pollution diffuse, destruction totale…) ;
- autres caractéristiques propres à l'élément concerné par l'impact :
  - ✓ nature précise de l'élément (zone humide pédologique, zone humide végétation…) ;
  - ✓ surface/longueur relative concernée ;
  - ✓ capacité d'auto-régénération (résilience) de l'élément impacté après l'impact ;
- contexte environnemental du projet (éléments de nature à réduire ou à augmenter localement l'intensité de l'effet) ;
- après mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction, si une incidence résiduelle est identifiée, une analyse des fonctions de la zone humide impactée est réalisée, selon la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides (MNHN/OFB – ex ONEMA, 2016 (165)), afin d'apprécier la perte de fonctionnalité liée à cette incidence résiduelle.

Conformément à la réglementation, si l'analyse des incidences mettaient en évidence des perturbations même faibles des zones humides et ce, malgré les mesures d'évitement et de réduction, l'Andra s'engage à mettre en œuvre des mesures de compensation avec comme objectif l'atteinte de l'équivalence fonctionnelle en appliquant un ratio de deux et en s'appuyant sur le « Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions de zones humides » de l'ex-ONEMA (mai 2016). Ainsi avec un ratio d'équivalence fonctionnelle de deux pour un, le gain fonctionnel de la mesure de compensation sera au moins deux fois supérieur à la perte fonctionnelle engendrée par le projet.

6.2.5 Incidences sur les continuités écologiques

L'incidence sur les continuités écologiques est appréhendée à plusieurs échelles : à une échelle élargie autour de l'aire d'étude immédiate du projet global Cigéo et à une échelle plus locale.

L'analyse des incidences sur les sous-trames identifiées a été réalisée en utilisant pour chacune une espèce cible représentative (cf. Chapitre 6.1.6 du présent volume).

Cette analyse se base sur les continuités modélisées, ainsi que sur les points de conflit identifiés (obstacles ou difficultés de circulation pour les espèces).

Pour les continuités écologiques, les incidences peuvent porter sur :

- la rupture d'une continuité écologique ;
- la modification de fonctionnalité d'un réservoir de biodiversité.

Les niveaux d'incidences sont plus ou moins forts en fonction de la nature de la continuité impactée (continuité locale ou régionale, possibilité ou non de corridor alternatif…) et des modifications apportées sur le réservoir de biodiversité (modification mineure ou importante avec effet sur ses fonctionnalités…).

Sur cette base, les incidences potentielles associées aux différentes opérations du projet global Cigéo ont été identifiées de manière qualitative. Lorsque des incidences potentielles notables sont observées, des mesures d'évitement et de réduction sont mises en œuvre afin de limiter les incidences résiduelles sur les continuités écologiques.

Une analyse et modélisation des trames écologiques et des continuités écologiques existantes est ensuite réalisée avec la prise en compte des mesures d'évitement et de réduction mises en place.

6.2.6 Incidences radiologiques

La méthode adoptée par l'Andra pour évaluer le risque radiologique pour la faune et la flore sauvages, associé aux émissions radioactives du projet global Cigéo, est basée sur le guide national édité par l'IRSN en 2021 (166) sur l'utilisation de l'approche ERICA et de l'outil associé, développés et utilisés au niveau européen (Beresford *et al.,* 2007 (163), Beaugelin- Seiller *et al.,* 2016 (164)). La démarche est similaire à celle de l'évaluation du risque radiologique sur la santé humaine. À partir du contexte et des données environnementales, de l'évaluation des émissions radioactives du projet global et de leur dispersion, il s'agit d'analyser l'exposition des organismes non humains (dose absorbée) et de caractériser le risque en fonction des effets attendus. Cette caractérisation du risque est effectuée en comparant l'exposition des organismes, *via* l'indicateur du débit de dose absorbée, au débit de dose absorbé sans effet attendu de 10 µGy/h défini au niveau européen.

» DOSE ABSORBÉE ET DÉBIT DE DOSE

La dose absorbée est la quantité d'énergie déposée dans une unité de masse par un rayonnement ionisant. Elle s'exprime en Gray, noté Gy (1 Gy équivaut à 1 Joule par kilogramme).

Le débit de dose est la dose absorbée par un organisme par unité de temps. Il s'exprime en Gray par heure, noté Gy/h.

Le micro (symbole µ) est le préfixe du Système international d'unités (SI) qui représente 10^{-6}, soit un millionième d'unité. C'est l'ordre de grandeur généralement utilisé pour la faune et la flore.

Les espèces sont représentées par 13 organismes de référence définis dans l'outil ERICA (amphibien, arthropode, insecte volant, petit mammifère, grand mammifère, mollusque-gastéropode, oiseau, reptile, annélide, plante-herbe, arbuste, arbre, lichen-bryophyte). Un organisme dont le mode de vie et la taille sont très différents de ces organismes de référence a été ajouté : les chauve-souris.

Étant donnée la sensibilité écologique de certaines zones proches des sites d'implantation de Cigéo, le niveau 2 de la démarche ERICA est appliqué, à savoir la comparaison des débits de dose absorbée par les organismes calculés avec la valeur de référence de 10 µGy/h reconnue comme sans effet (167).

La démarche comporte quatre étapes similaires à celles de la démarche d'évaluation du risque radiologique à l'Homme :

- définition du contexte de l'évaluation ;
- analyse des expositions ;
- analyse des effets ;
- caractérisation du risque.

6.2.6.1 Inventaire des organismes

6.2.6.1.1 Rappel de la méthode et de organismes de référence ERICA

Une liste d'espèces présentes dans une aire d'étude d'environ dix kilomètres de côté dans la fourchette du périmètre de 100 – 400 km² défini par l'AIEA (168) est établie à partir :

- des inventaires écologiques menés dans le cadre de la connaissance du site ;
- des espèces identifiées dans les espaces protégés par conventionnement (sites Natura 2000, parcs naturels régionaux) ;
- des espèces inscrites et classées dans les espaces recensés par inventaire (espèces déterminantes ZNIEFF, ZICO) et indiquées dans les fiches descriptives correspondantes ;
- des espèces à valeur économique (ressource halieutique ou élevage) et culturelle (emblématiques).

Dans un second temps, le nombre d'espèces inscrites dans cette première liste est réduit en appliquant deux niveaux de filtre :

- le premier filtre consiste à prendre en compte non seulement les aspects réglementaires mais également des considérations écologiques : sélection d'espèces présentant des enjeux écologiques (espèces protégées) et liées à des enjeux culturels et économiques (espèces emblématiques, ressources halieutiques, espèces d'élevage). Les espèces protégées ne sont pas forcément celles qui représentent au mieux les enjeux de préservation pour l'ensemble de la biodiversité d'un territoire, mais permettent de protéger un grand nombre des espèces partageant le même mode de vie et le même habitat (assimilables à des espèces « parapluies ») ;
- le second filtre permet de prendre en compte des attributs indispensables à la dosimétrie de la faune et la flore (tailles, volumes et modes de vie) : sélection d'espèces présentant des écarts significatifs de formes et de tailles, mais également de mode de vie avec les organismes de référence, présents par défaut dans l'outil ERICA.

L'application informatique ERICA utilisée propose par défaut différents organismes de référence des trois écosystèmes : eau douce, eau de mer et milieu terrestre.

6.2.6.1.2 Organismes retenus pour les calculs dosimétriques

L'étude d'impact du projet global Cigéo et l'analyse bibliographique des données publiques ont permis de mettre en évidence la richesse du milieu dans lequel est implanté le projet et également de mettre en évidence un certain nombre d'espèces protégées et remarquables. Au vu de la nature exclusivement atmosphérique des rejets, seuls les organismes terrestres et semi-aquatiques sont à considérer pour évaluer l'impact des rejets radioactifs du projet global Cigéo.

Parmi les espèces terrestres identifiées, la grande majorité de la faune est constituée d'oiseaux, suivi par la catégorie des insectes volants qui comprend les coléoptères, les lépidoptères, les orthoptères, les éphéméroptères, les plécoptères et les odonates (écosystème terrestre et aquatique). En nombre comparable, on retrouve le groupe des mammifères dont des chiroptères (toutes les espèces sont protégées). Des espèces d'amphibiens et des espèces de reptiles figurent également sur cette première liste.

Dans la version 1.2.1 d'ERICA, l'ordre des chiroptères et le groupe des champignons ne font pas partie de la liste des 13 organismes de référence du milieu terrestre par défaut.

Dans le cas des chiroptères, espèces présentant des mœurs très différentes des organismes de référence de l'écosystème terrestre proposés par ERICA, il a été fait le choix, par soucis de représentativité, d'ajouter les chiroptères à la bibliothèque des espèces d'ERICA afin d'inclure le calcul des débits de dose absorbée pour ces organismes.

Il est aussi noté que les champignons représentent des espèces emblématiques de la zone d'implantation. Cependant, ils ne sont pas traités dans les calculs dosimétriques réalisés dans cette étude du fait de l'absence d'inventaires disponibles et du fait de la non-nécessité de les considérer en tant qu'organisme spécifique. En effet, Guillén *et al., 2017* (169) montrent qu'il n'est pas nécessaire de considérer spécifiquement, en plus des autres OR d'ERICA, les champignons : « *Based on these findings we feel that there is no need to recommend that fungi should be added to the existing assessment tools and frameworks* ».

À cette liste initiale sont appliquées des sélections basées sur des critères écologiques et des critères dosimétriques.

Au total, les 13 organismes de référence (OR) représentatifs de l'écosystème terrestre, décrits dans l'outil ERICA (version 1.2.1), sont à considérer pour les calculs de débit de dose.

6.2.6.2 Critère d'évaluation et niveau de protection

La revue des bases scientifiques consensuelles des connaissances disponibles en matière de radio toxicité pour la faune et la flore a conduit l'Europe à adopter dans le cadre de l'approche ERICA une valeur de référence de 10 µGy/h (*Predicted non effect dose rate*, PNEDR), applicable ajouté au bruit de fond, à un écosystème générique pour tous les organismes. Ce débit de dose ajouté de 10 µGy/h, est directement comparé au débit de dose total absorbé estimé pour chaque organisme considéré. Le ratio entre le débit de dose totale calculé (exprimé en µGy/h) pour l'organisme et cette valeur permet de calculer un quotient de risque.

Si ce quotient de risque est inférieur ou égal à un, on considère qu'il n'y a pas de risque pour l'organisme. En revanche si ce rapport est supérieur à un, un risque ne peut pas être écarté.

6.3 Compensation écologique

6.3.1 Les grands principes de la compensation écologique

La compensation doit apporter des gains permettant de compenser les incidences résiduelles notables, et donc de permettre l'atteinte de l'objectif d'absence de perte nette, entériné par la loi « biodiversité » du 8 août 2016 dans son article 2. Un gain ne peut être généré que par une action de restauration, de réparation, ou de réhabilitation. En conséquence, la simple préservation d'un milieu déjà en bon état écologique ne peut généralement être considérée comme une mesure de compensation, sauf lorsqu'il est démontré que cette mesure permet de préserver le milieu d'une pression à court ou moyen terme. Les gains de biodiversité ne s'évaluent pas par rapport à un scénario pessimiste de l'évolution de l'état de la biodiversité sur les sites accueillant la mesure de compensation mais bien par rapport à l'état initial de cette biodiversité sur ces sites incluant sa trajectoire écologique en l'absence d'intervention.

Il est ici noté que l'atteinte de l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité ne peut être justifiée par la seule équivalence écologique. En effet, l'ensemble des principes fondamentaux de la compensation doivent également être pris en compte et justifiés afin de pouvoir conclure sur une atteinte de l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité. Ce sont notamment :

- l'additionnalité : les mesures doivent générer une plus-value écologique qui n'aurait pas été obtenue en leur absence, l'amélioration écologique est à démontrer ;
- la localisation : priorité à la proximité fonctionnelle des compensations ;
- la temporalité : compensation à mettre en place avant l'impact ; les mesures compensatoires doivent être anticipées le plus en amont possible par le maître d'ouvrage de façon à perturber le moins possible l'état de conservation des espèces visées ;
- la durée : la pérennité peut être assurée par l'acquisition de terrain ou des démarches contractuelles de long terme avec les propriétaires ;
- la faisabilité technique, administrative et juridique : celle-ci doit être démontrée ;
- le financement assuré pour la mise en œuvre et le suivi sur toute la durée retenue ;
- la responsabilité du maître d'ouvrage, même en cas de délégation.

Les mesures compensatoires doivent être assorties d'objectifs de résultat et de modalités de suivi de leur efficacité et de leurs effets et la concertation et les échanges avec les services de l'État seront pris en compte pour la définition des mesures compensatoires.

6.3.2 Principes généraux retenus par l'Andra

Les grands principes de compensation retenus par l'Andra sont les suivants :

Les incidences résiduelles de milieux de niveaux « très fort », « fort » et « modéré » sont considérées comme « notables » au sens de l'article R. 122-5 du code de l'environnement et en tenant compte du principe de prévention tel que défini par l'article L. 110-1 du code de l'environnement. Ces incidences nécessitent la mise en œuvre de mesures compensatoires répondant au principe d'équivalence écologique défini par l'article L. 163-1 du code de l'environnement.

Les incidences résiduelles faibles du projet se retrouvent aussi compensés par conséquence de l'effet parapluie des mesures mises en place pour les incidences modérées, fortes et très fortes. En effet, la fonctionnalité recherchée sur les espèces à enjeu modéré, fort et très fort sert souvent aux autres espèces, à moindre enjeu après vérification de la bonne équivalence écologique entre ces différents niveaux d'impact (même espèces, mêmes fonctions…).

6.3.2.1 Intégrer les mesures compensatoires dans le territoire et prendre en compte les équilibres écologiques existants

Conciliant enjeux d'aménagement et d'environnement, la compensation Andra s'inscrit dans l'objectif de maîtriser l'empreinte environnementale dès leur conception tout en favorisant un développement territorial dynamique, équilibré et durable. En effet, le patrimoine naturel est un facteur fort de l'attractivité des territoires et son maintien est essentiel pour préserver la qualité de vie des habitants.

L'Andra restaure des milieux naturels équivalents aux sites impactés, permettant ainsi de maintenir l'équilibre écologique du territoire. Elle veille à constituer et renforcer des unités biogéographiques cohérentes offrant des potentialités biologiques importantes pour la faune sédentaire ou migratrice (transit, repos, alimentation et reproduction).

Les implantations du projet global Cigéo et des installations de raccordement se situent dans des territoires ruraux dont une des principales activités est l'agriculture.

Les usages habituels dans les forêts retenues pour la compensation sont conservés lorsqu'ils ne sont pas incompatibles avec les objectifs des mesures compensatoires : promenade (hors îlots de sénescence pour des raisons de sécurité), chasse (avec quelques préconisations et restrictions simples pour respecter les objectifs écologiques), ramassage de bois et exploitation sylvicole rentable.

6.3.2.2 Respecter l'exigence de proximité fonctionnelle

Les sites de compensation ont été retenus notamment du fait de leur proximité fonctionnelle **: c**ondition selon laquelle les mesures de compensation sont mises en œuvre en priorité au plus près des sites endommagés, et dans tous les cas à proximité fonctionnelle de la zone affectée par le projet, sur les sites les plus appropriés au regard des enjeux en présence et au sein de la même zone naturelle. La « zone naturelle » est une région d'étendue souvent limitée, présentant des caractères homogènes et similaires aux sites affectés d'un point de vue physique (géomorphologie, géologie, bathymétrie, courantologie, climat, sols ou substrat, ressources en eau, régime hydrologique, etc.) et du point de vue de l'occupation humaine (perception et gestion du territoire développant des paysages et une identité culturelle propre). Pour cela, **la région naturelle retenue est celle du Barrois**.

Puis les sites prévus ont fait l'objet d'abord d'un prédiagnostic écologique, puis d'un état initial des habitats et espèces fréquentant le site de compensation. À la suite, les espèces à enjeux déjà présentes ont été prises en compte afin d'éviter un impact supplémentaire sur les populations avec les actions de restauration du site.

Cette première analyse globale du territoire a permis de garantir qu'il existe des sites :

- pertinents au vu des éléments de biodiversité affectés, c'est-à-dire des sites susceptibles de contenir les mêmes espèces, habitats et fonctions que ceux affectés par le projet, après la mise en œuvre des mesures de compensation ;
- présentant un potentiel de gain écologique intéressant (par exemple : site dégradé ou dans une trajectoire écologique défavorable ou sous pressions, sites présentant la possibilité d'augmenter les effectifs des espèces déjà présentes, ou d'améliorer les habitats pour accueillir des espèces non présentes) ;
- à proximité fonctionnelle, c'est-à-dire intégrés dans la même zone naturelle et accessibles aux mêmes populations d'espèces, si les mesures de compensation ne peuvent être mises en œuvre sur le site d'impact ou à proximité immédiate ;
- une maîtrise et sécurisation du foncier. L'Andra privilégie l'utilisation de son foncier pour la compensation. À cette fin, elle engage une politique d'acquisition foncière en amont de ses projets dans l'objectif de mieux maîtriser la pérennité des mesures et de la gestion de la mise en œuvre de la compensation.

Cela a donc permis de retenir onze sites de compensation.

Si certains guides précisent que « quel que soit le site [de compensation] retenu, une population de [l'espèce à compenser] devra déjà y être présente ou y avoir été recensée par le passé (si le site présente les conditions nécessaires à un possible retour de l'espèce considérée) ou à défaut y être considérée comme très probable » (CGDD et Cerema 2018), le retour d'expériences de CDC Biodiversité (entretiens avec des experts) nous poussent à ne pas adopter ce paradigme, et à considérer, sous certaines conditions, qu'il est possible pour une espèce de coloniser de nouveaux sites.

Chaque site de compensation n'a pas pu accueillir l'intégralité des cortèges et espèces cibles de compensation. Cette sélection a été rendue possible grâce à l'analyse des données bibliographiques et des inventaires de terrain. Les conditions pour qu'un nouveau site (rendu favorable *via* les mesures de compensation) puisse être colonisé, sans se lancer dans une modélisation de la dynamique des populations dans et entre leurs habitats, ont été :

- existence d'une population source (ou métapopulation) à proximité, par exemple sur la commune ou commune limitrophe tout en essayant de tenir compte des distances de dispersion de l'espèce et/ou ;
- existence de continuités écologiques fonctionnelles entre le site de compensation (après mesure) et les populations sources.

Les questions de « population minimum viable » et « d'effectif efficace » ne sont pas abordées ici, il s'agit uniquement de vérifier que les habitats rendus favorables grâce aux mesures de compensation écologique pourront être colonisés par les espèces concernées par la compensation ou bénéficieront à maintenir voire augmentation les populations déjà en place.

Chaque site de compensation a donc fait l'objet d'un plan de gestion reprenant l'intégralité des composantes de biodiversité du guide de l'approche standardisée du dimensionnement de la compensation.

6.3.2.3 Acquérir les sites de compensation

L'Andra privilégie l'utilisation de son foncier pour la compensation. À cette fin, elle engage une politique d'acquisition foncière en amont de ses projets dans l'objectif de mieux maîtriser la pérennité des mesures et de la gestion de la mise en œuvre de la compensation. Afin de connaître les potentialités des sites pressentis pour la compensation. Des pré-diagnostics écologiques (inventaires faune-flore) et forestiers (carte des peuplements, état de conservation) sont réalisés.

6.3.2.4 Optimiser le nombre de site de compensation

La mutualisation de plusieurs mesures de compensation sur un même site leur donne une plus grande cohérence écologique et une meilleure fonctionnalité. Par ailleurs en agissant sur des sites de grandes surfaces cohérentes format des corridors. L'Andra accroit la capacité de résilience des sites d'actions, Ce principe simplifie également la gestion et le suivi de l'efficacité des mesures. Ainsi, la mise en œuvre des mesures de compensation sur un nombre réduit de sites de taille suffisamment importante est privilégiée par l'Andra.

Par exemple, les mesures forestières mises en œuvre au sein d'un massif forestier de grande superficie, ou disposant de connexions très fonctionnelles avec d'autres grands massifs participent à améliorer les habitats d'espèces, notamment pour les espèces à grand territoire. Les grands massifs sont susceptibles d'héberger plus d'espèces forestières exigeantes. Ces espèces peuvent plus facilement coloniser les parcelles de compensation. Au cœur d'un grand massif, les parcelles de compensation sont mieux protégées du dérangement et des pollutions diffuses. Dans le cadre de la mise en œuvre des mesures compensatoires en forêt, l'Andra favorise la recherche d'opportunités et de co-bénéfices pour la biodiversité et le fonctionnement des systèmes écologiques.

6.3.2.5 Engagements de l'Andra sur la mise en œuvre des mesures compensatoires

L'Andra est responsable de la mise en œuvre et des résultats des mesures de compensation pour les opérations dont elle est Maître d'ouvrage. Des opérations supplémentaires, sous la responsabilité d'autres maîtres d'ouvrage, sont toutefois nécessaires au fonctionnement du centre de stockage Cigéo (alimentation en eau, énergie, infrastructures de transport). Les différents Maîtres d'ouvrage associés à ces opérations sont responsables de leurs éventuelles compensations, cependant, une coopération entre eux et l'Andra est mise en place, dans le but d'harmoniser la méthodologie et ainsi mettre en cohérence l'ensemble des mesures de compensation pour les différentes opérations nécessaires au bon fonctionnement du projet global Cigéo.

6.3.2.6 Mettre en œuvre et suivre les mesures compensatoires dès l'obtention des autorisations et dans la longue durée

Les modalités de compensation figurent dans l'arrêté d'autorisation.

L'Andra établit un plan de restauration et de gestion écologique dans le cadre de la demande d'autorisation de travaux et de la concertation qui l'accompagne, et le met en œuvre dès l'obtention des autorisations. L'Andra engagera donc la mise en œuvre des mesures compensatoires au plus tard lors de la survenance des impacts induits par les travaux de la phase de réalisation autorisée pour les projets et dès l'obtention des autorisations, en établissant un plan de restauration et de gestion conservatoire sur la base d'expertises scientifiques des sites de compensation et faisant apparaître les mesures compensatoires proposées.

Le délai parfois court entre l'autorisation et l'impact nécessite d'anticiper la définition et la préparation pour être en situation de démarrer la compensation dès l'autorisation et avant impact. L'autorisation étant nécessaire pour bien faire reconnaître l'éligibilité par les services instructeurs des actions engagées, il est déconseillé de démarrer la mise en œuvre des mesures par anticipation.

L'article L. 163-1 du code de l'environnement précise que les mesures compensatoires « doivent se traduire par une obligation de résultats et être effectives pendant toute la durée des atteintes. »

Les lignes directrices nationales du ministère (170) indiquent que : « La durée de gestion des mesures doit être justifiée et déterminée en fonction de la durée prévue des impacts, du type de milieux naturels ciblé en priorité par la mesure, des modalités de gestion et du temps estimé nécessaire à l'atteinte des objectifs ». L'objectif est de viser la pérennité des effets de la mesure, en assurant sa gestion adéquate tout au long de la durée d'engagement du maître d'ouvrage, en fonction des enjeux environnementaux et en conformité avec l'acte d'autorisation. Au-delà de la durée d'engagement du maître d'ouvrage, la vocation écologique pérenne du site de compensation peut être anticipée, lorsque cela s'avère nécessaire.

L'Andra souhaite maintenir la gestion des mesures écologiques a minima jusqu'à la restitution des milieux naturels sur les sites de compensation, au niveau ciblé. Ce délai d'atteinte des objectifs des mesures compensatoires est plus important en milieu forestier ou prairial qu'en milieu cultivé. En effet, la durée d'atteinte d'un stade de forêt mature peut atteindre plusieurs dizaines d'années. Un coefficient correspondant à la temporalité est appliqué afin d'intégrer le décalage temporel entre les impacts du projet sur le site d'implantation et l'efficacité des mesures sur les sites de compensation. Pour les milieux demandant un certain temps pour atteindre les objectifs écologiques recherchés, il a été décidé d'appliquer un coefficient de 0,8. Ce coefficient s'appliquera donc aux habitats forestiers et aux habitats prairiaux destinés à accueillir des insectes exigeants, sachant que, pour les milieux forestiers, les mesures en faveur des espèces les plus exigeantes seront mises en œuvre au sein de peuplements forestiers déjà adultes. Pour les habitats agricoles, aucun coefficient particulier n'est appliqué, l'augmentation de la capacité d'accueil des oiseaux des milieux ouverts et semi-ouverts étant obtenue très rapidement.

L'Andra s'engage ainsi dans une démarche enveloppe :

- à maintenir toutes ses mesures compensatoires sur une durée de 50 ans quel que soit le milieu ;
- à réétudier au bout de 50 ans le devenir des sites de compensation avec les services de l'État en charge du suivi des mesures compensatoires : maintien des mesures, transfert ou non de propriété, nature et durée des mesures de gestion conservatoire ;
- à noter que cette durée est importante au regard des conventionnements à mettre en place avec les gestionnaires et exploitants associés aux plans de gestion des sites de compensation.

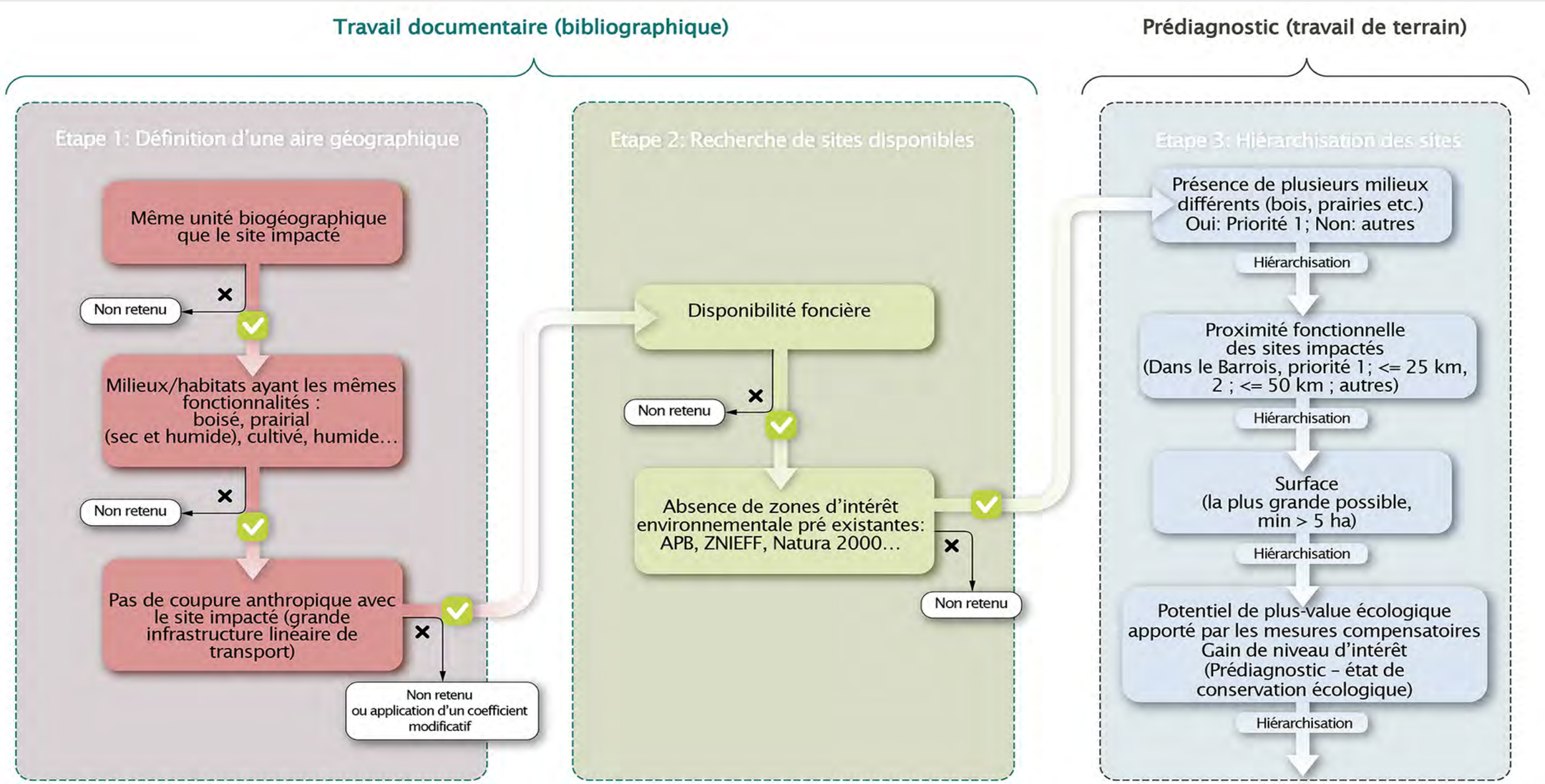


Figure 6-27 Étapes pour le choix des sites de compensation écologique

6.3.2.7 Suivre sur le long terme l'évolution des sites de compensation et l'efficacité des mesures

L'efficacité de chaque mesure est évaluée par un programme de suivi (suivant les modalités fixées par l'acte d'autorisation sur la base des engagements du maître d'ouvrage), c'est-à-dire par une série de collectes de données répétées dans le temps qui renseignent des indicateurs de résultats. Ces suivis permettent une gestion adaptative orientée vers les résultats à atteindre. Les indicateurs de résultats sont définis en tenant compte de l'état initial du site de compensation.

Pour chaque site de compensation, l'Andra détaille les modalités de suivi dans les plans de gestion écologiques en mettant l'accent sur les enjeux identifiés et les cortèges d'espèces visées : protocoles, périodicité (intervalles auxquels sont programmés les suivis) et périodes (moment dans l'année) de réalisation. Le programme de suivi sera mené sur la durée définie dans l'acte d'autorisation. Après la réalisation d'un état initial écologique détaillé au cours de la première année de mise en œuvre des mesures, les suivis pourront être réalisés à 2 ans, 5 ans, 10 ans puis tous les 10 ans.

Si les suivis écologiques venaient à démontrer un risque de non atteinte des objectifs fixés sur un ou plusieurs sites de compensation, les plans de gestion seraient alors remis à jour en lien étroit avec l'administration.

6.3.3 Méthode de dimensionnement de la dette et du gain écologiques des fonctionnalités des habitats

Dans le cadre de la présente étude d'impact, la méthode utilisée pour évaluer la dette et le gain écologiques du projet sur les fonctionnalités des habitats a été développée par CDC Biodiversité, en cohérence avec « l'Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique » (mai 2021) portée par le ministère de la Transition écologique, l'OFB et le Cerema (171). Elle repose sur l'évaluation des pertes et des gains pour les espèces protégées et patrimoniales *via* :

- la définition de cortège de même affinité écologique par groupe ;
- l'évaluation du niveau d'intérêt des habitats pour une espèce donnée (ou un cortège donné) ;
- la valorisation quantitative des mesures de réduction ;
- la projection de l'habitat à atteindre en fonction de la mesure de compensation et à fortiori de l'intérêt de l'habitat.

Cette méthode dite « par écart de milieux » est pondérée par un coefficient multiplicateur en fonction de l'intérêt que le milieu représente pour une espèce (ou un cortège d'espèce). Les pertes et les gains représentent la différence entre le niveau d'intérêt d'un habitat initial (avant impact) et l'intérêt de l'habitat final (impacté ou restauré. Un coefficient est ensuite appliqué en fonction de la durée de l'impact sur le milieu (permanents ou temporaires).

Les pertes et les gains s'évaluent en Unité de Compensation (UC) par cortèges d'espèces avec la distinction de la nature des habitats impactés/habitats restaurés.

Le schéma de principe de la compensation est présenté en figure 6-28.

Huit étapes sont nécessaires pour quantifier la dette et le gain compensatoires :

Étape 1 : état initial sur l'aire d'étude du projet et au sein des sites de compensation

Des inventaires faune-flore-habitats sont menés sur l'aire d'étude immédiate du projet et sur les sites de compensation. Il s'agit de réaliser un « état des lieux » écologique des zones qui seront potentiellement impactées ou restaurées par le projet.

On rappelle que l'objectif est d'obtenir un gain écologique (sur les sites des compensation) égal ou supérieur à la dette écologique du projet global Cigéo.

Étape 2 : regroupement des habitats par grand type de milieux (cf. Chapitre 6.1.3.1 du présent volume)

Les habitats recensés sur les zones d'inventaires sont ensuite regroupés par type de milieu (26) Cette classification permet de mieux orienter les mesures compensatoires à mettre en œuvre selon les grands types de milieux.

Étape 3 : regroupement des espèces par cortèges (cf. Chapitre 6.1.4.9 du présent volume)

Les espèces en fonction de leurs exigences écologiques et de leur milieu de prédilection ont été classées par cortèges (25) en prenant en compte au sein de ces cortèges des espèces cibles « parapluies ».

Étape 4 : mise en place d'un référentiel habitats – définition de l'intérêt des catégories d'habitats (cf. Annexe 8.1 du présent volume).

Une fois les grands types d'habitats identifiés, ils ont été définis en différentes catégorie en fonction de l'état de conservation de l'habitats naturel, en lien avec ses variables écologiques dont on suppose qu'elles peuvent avoir un effet prépondérant sur la sélection de l'habitat par l'espèce ou le cortège pour tout ou partie du cycle biologique.

Étape 5 : application d'un niveau d'intérêt par catégories d'habitats d'espèces et par cortège

Chaque catégorie d'habitat (Ac, Ma, Jb, Sc, etc.) se voit appliquer un niveau d'intérêt compris entre 0 et 4 à la fois sur les sites impactés et sites de compensation pour chaque groupe et chaque cortège. La grille de qualification des niveaux d'intérêt des habitats par groupe et par cortège est présentée en annexe 8.3 du présent volume. Elle se base sur plusieurs critères qui ont permis de qualifier :

- sa fonctionnalité (habitat de reproduction, déplacement, alimentation, hivernage, migration), c'est-à-dire le rôle que joue cet habitat dans le cycle de vie d'une espèce,
- l'état de conservation de l'habitat (dégradé, altéré, moyen, bon, optimal) et la capacité de celui-ci à assurer les fonctions suffisantes à une espèce pour lui permettre d'accomplir son cycle de vie,
- la diversité et la densité d'espèces observées.

Étape 6 : application sur les aires d'études du projet et sur les sites de compensation

Dès lors que ces référentiels ont été construits et que les habitats d'espèces ont été caractérisés selon cette classification, les niveaux d'intérêts ont été appliqués en fonction de l'habitat identifié sur le terrain pour chaque cortège (approche déductive). Toutefois, dans la pratique, des dégradations de 1 niveau d'intérêt ont pu avoir lieu en fonction de divers paramètres (approche inductive) :

- la surface et structure de l'habitat qui sont soient :
  - ✓ trop restreinte et qui ne peut être le support des fonctionnalités et exigences écologiques des espèces du cortège ; tel que l'optimum défini dans le référentiel ;
  - ✓ trop importante entrainant une dispersion ou déplacement contrainte des espèces par rapport à des éléments structurants de leur domaine vital (ex : une prairie d'un seul tenant de plusieurs dizaines d'hectares dont le cœur de parcelle sera difficilement exploitable pour des reptiles – exposés à une prédation forte ;
  - ✓ un habitat linéaire qui ne pourrait pas jouer les mêmes fonctions qu'une disposition non linéaire ;
- le contexte environnemental dans lequel s'insère l'habitat : isolement d'une pelouse au sein d'un continuum boisé, fragmentation et/ou barrières anthropiques… ;
- des menaces diverses pesant sur l'habitat (influence de l'agriculture intensive à proximité, dégradation du gibier…) ;
- une fréquentation humaine entraînant un dérangement… ;
- le mode de gestion actuelle de la parcelle accueillant l'habitat, entrainant des perturbations et contraignant l'installation du cortège d'espèces ou de certaines espèces (débroussaillage répété…etc).

Étape 7 : caractérisation des impacts du projet global Cigéo et des effets des mesures compensatoires

Une fois l'identification et la cartographie des habitats d'espèces par cortège réalisées, chaque zone projet a été superposée afin d'estimer les impacts ou les gains générés au sein de ces mêmes habitats.

Les cinq grandes catégories d'effets potentiels identifiés sont les suivantes :

- la destruction/dégradation d'habitats d'espèces ;
- la destruction d'individus ;
- la perturbation d'individus ;
- la dégradation des fonctionnalités écologiques ;
- les altérations biochimiques.

Dans le cadre de l'étude, les impacts au sein d'habitats d'intérêt très faibles ou faibles (I0 ou I1) ne sont pas considérés comme notables. Ainsi, une surface affectée ne rentrera dans le calcul des pertes que si elle abrite une biodiversité dont l'intérêt est minimum moyen (I2).

La durée de l'impact sur l'habitat initial des cortèges d'espèces a été traitée de façon distincte, avec d'un côté les impacts temporaires (altération temporaire d'un habitat d'espèces avant restauration) et de l'autre les impacts permanents. Pour les impacts temporaires, les mesures de réduction vont permettre, notamment, de restituer un milieu qui n'est pas imperméable et inexploitable (ex : recréation après travaux des buissons ou friches sur la zone impactée). De fait l'impact résiduel va être limité grâce à cette mesure ; où à l'inverse un impact permanent sera irréversible et aucun habitat ne permettra à l'espèce de subvenir à ses exigences écologiques.

Dans le cadre de ce projet, le parti pris est de considérer une dette nulle lorsque les milieux impactés de manière temporaire à l'état initial, ont un niveau d'intérêt très faible (I0) à faible (I1). En effet, il est visé *a minima* une restauration des milieux avec un niveau d'intérêt égal à faible (I1) postérieurement aux travaux. Ainsi, bien qu'il y ait un impact temporaire, ces milieux faiblement qualitatifs à l'état initial et n'accueillant que peu de biodiversité ne seront pas pris en compte dans la dette en raison de leur restauration avec un niveau d'intérêt équivalent à l'état initial.

Concernant les milieux impactés de manière temporaire à l'état initial et qui ont un niveau d'intérêt *a minima* de moyen (I2), il est projeté un habitat restauré avec un niveau d'intérêt faible (I1) postérieurement aux travaux. Cela conduit à calculer une dette pour ces milieux en considérant non pas un impact temporaire mais un impact permanent puisqu'un retour à l'état initial ne sera pas possible sur ces milieux postérieurement aux travaux.

Des zones tampons sont également définies :

- pour le cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert : dans la zone descenderie, une zone tampon de 100 mètres est définie autour des éléments arborés (haies, fourrés…). Le niveau d'intérêt des parcelles agricoles est augmenté de un au sein de ces zones tampon ;
- pour le cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec mares/étangs (reproduction) : dans la zone puits, une zone tampon de 300 mètres est définie autour des mares et cours d'eau. Le niveau d'intérêt des habitats hors zone tampon est diminué de un.

En ce qui concerne le calcul du gain compensatoire, le décalage temporel entre l'impact effectif et la mise en œuvre des mesures de compensation doit être nul ou minimum. En outre, le délai entre la mise en œuvre des mesures de compensation et l'atteinte de leur optimum écologique, à la source de pertes intermédiaires, doit être intégré dans le dimensionnement. Les mesures de compensation sont idéalement, pleinement effectives au moment des impacts et, au plus tôt, au moment des autorisations.. Conscient que certains habitats prennent du temps avant d'acquérir leur fonctionnalité pour les espèces ou cortèges cibles, il a été décidé d'appliquer un coefficient multiplicateur <1, pour tenir compte de la fonctionnalité partielle de la mesure de compensation pendant sa période de développement jusqu'à atteidre son stade de maturité. Exemple : 0,8 pour les mesures de plantation forestière.

Étape 8 : calcul quantitatif de la dette et du gain écologique

La dette et le gain de compensation sont exprimés par cortège d'espèce et par groupe. Un *distinguo* sera fait également entre les impacts permanents résiduels et les impacts temporaires résiduels.

À chaque niveau d'intérêt est associé un coefficient afin de calculer la dette et le gain écologique. Ils sont présentés dans le tableau 6-16.

Tableau 6-16 Coefficients appliqués aux zones selon leur niveau d'intérêt des habitats d'espèces

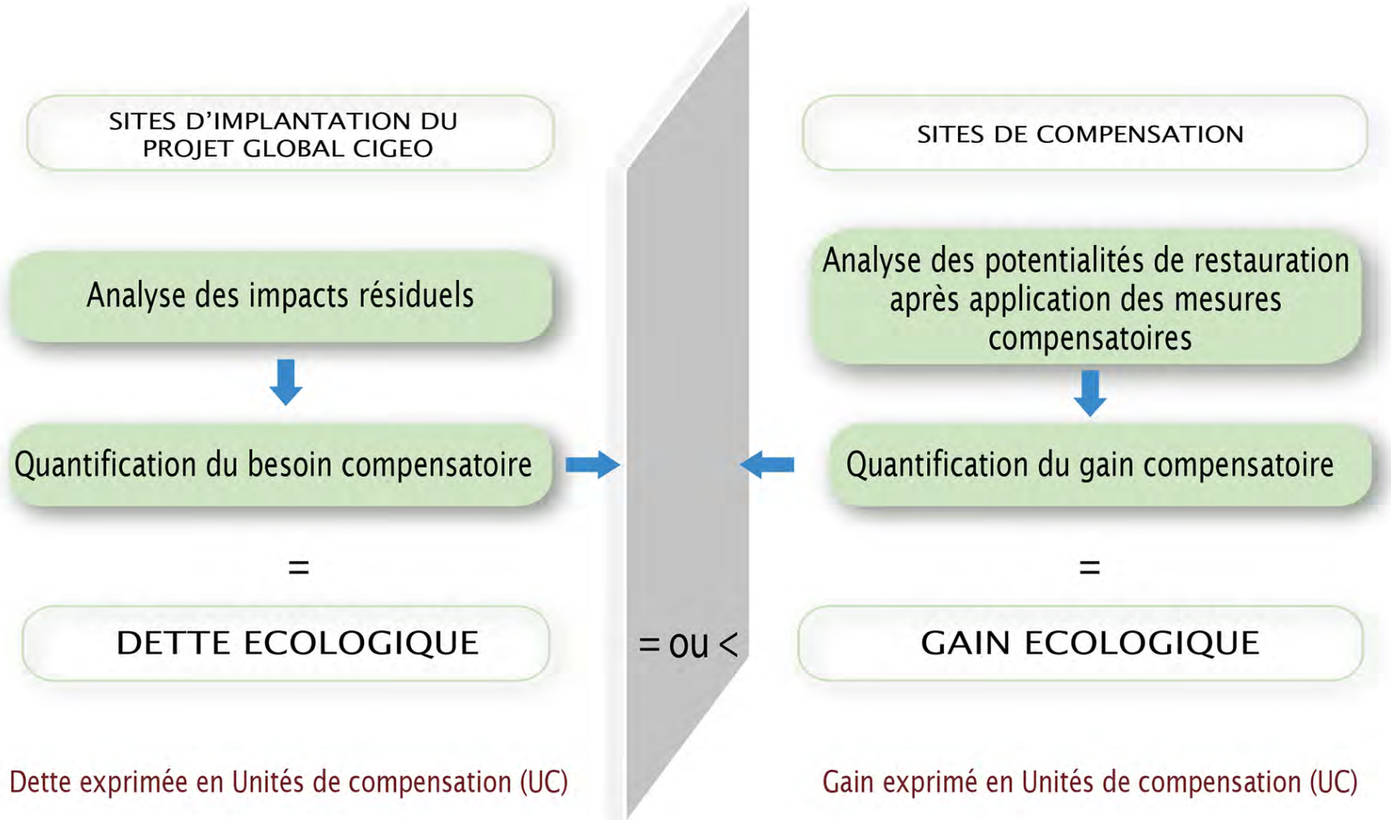
	Niveau d'intérêt	Coefficient NI
I4	Très fort	3
I3	Fort	2
I2	Moyen	1
I1	Faible	0,5
I0	Très faible	0

Formule de calcul de la dette écologique sur les emprises du projet global Cigéo

Selon la méthode d'écart de milieu couplé à un coefficient traduisant l'intérêt de l'habitat, les formules appliquées à la dette sont les suivantes :

Dette permanente résiduelle (en UC) =Σ (Surface de l'habitat x (Coefficient d'intérêt de l'habitat final – Coefficient d'intérêt de l'habitat initial))

Dette temporaire résiduelle (en UC) = Σ (Surface de l'habitat x (Coefficient d'intérêt de l'habitat final I1 – Coefficient d'intérêt de l'habitat initial))



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0312-B

Figure 6-28 Schéma de la méthode dite « par écart de milieux » utilisée pour le dimensionnement de la dette et du gain écologique

La dette est calculée sur les périmètres représentés sur les figure 6-29 à figure 6-32. Les figure 6-33 et figure 6-34 localisent les zones tampons créées autour des éléments arborés dans la zone descenderie et des mares et cours d'eau dans la zone puits, respectivement pour le cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert et le cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec mares/étangs (reproduction).

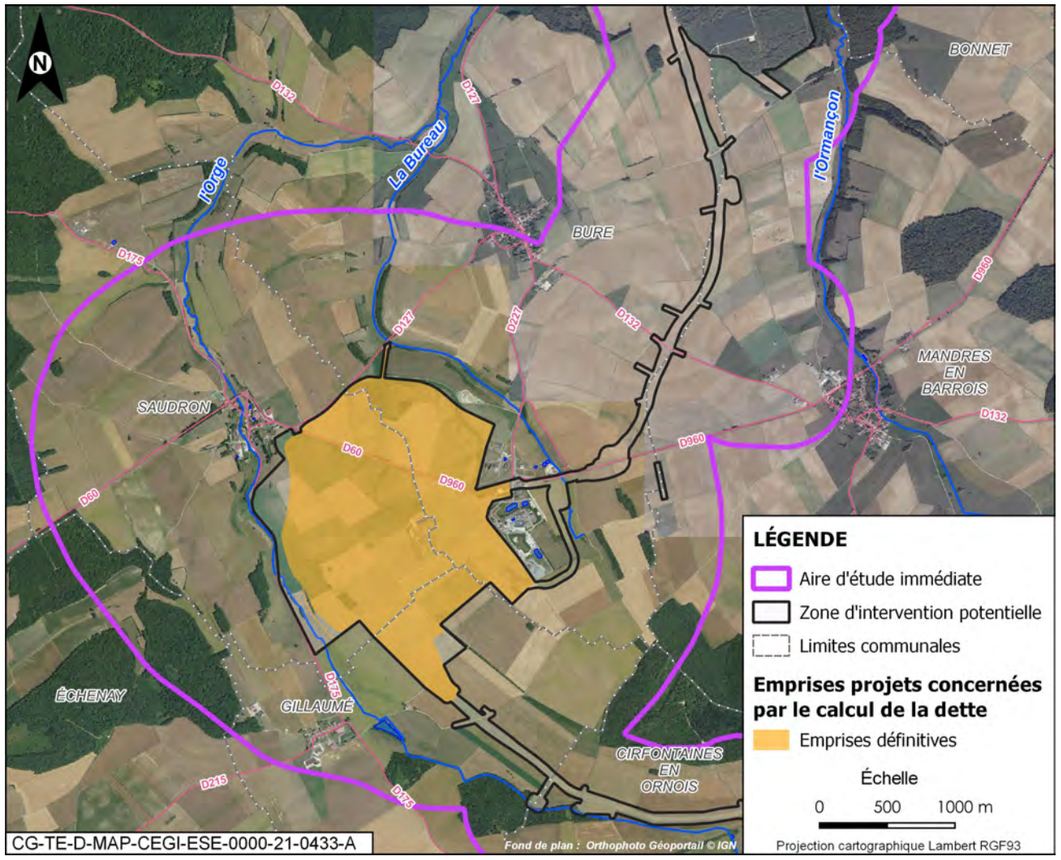


Figure 6-29 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de la zone descenderie

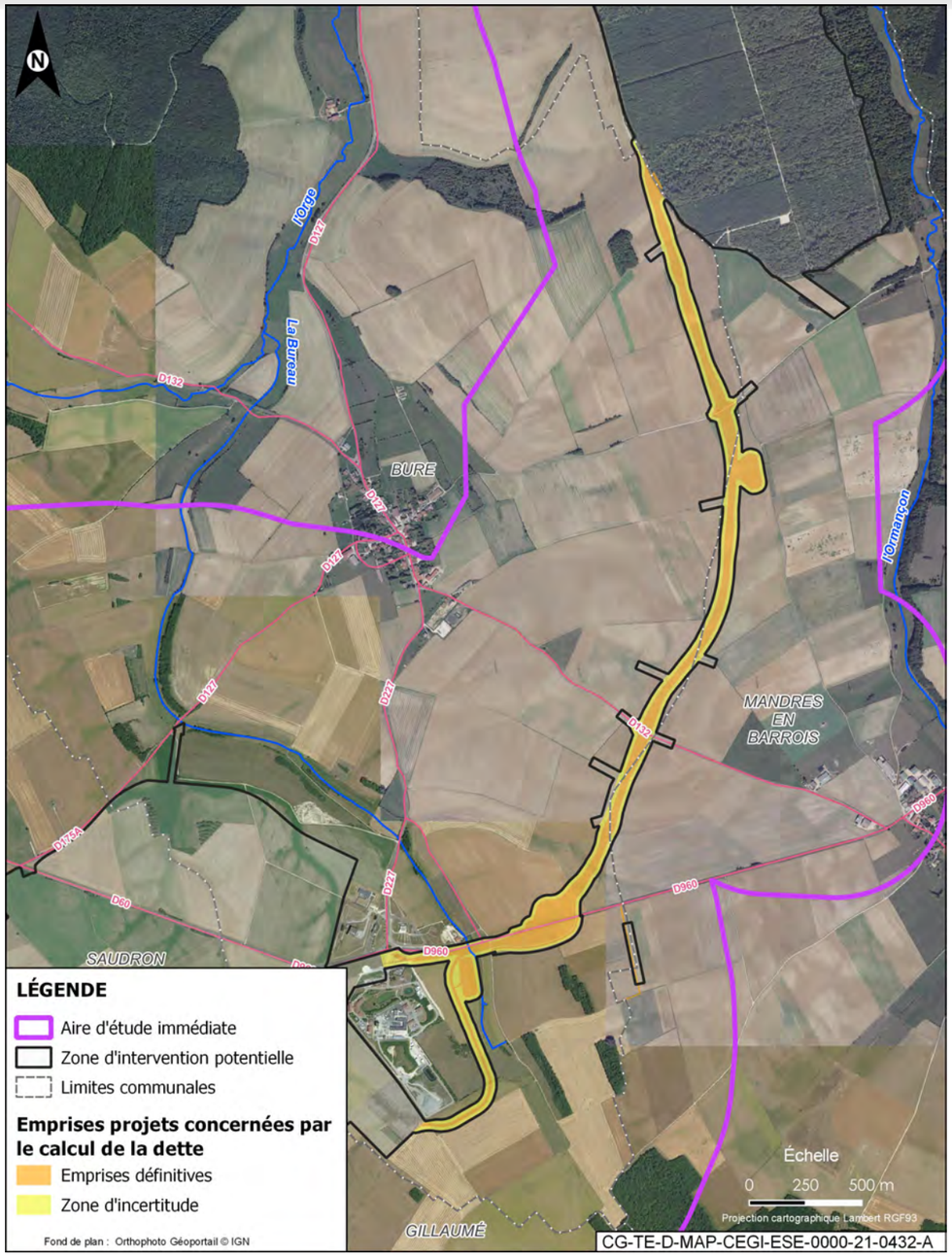


Figure 6-30 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de la liaison intersites

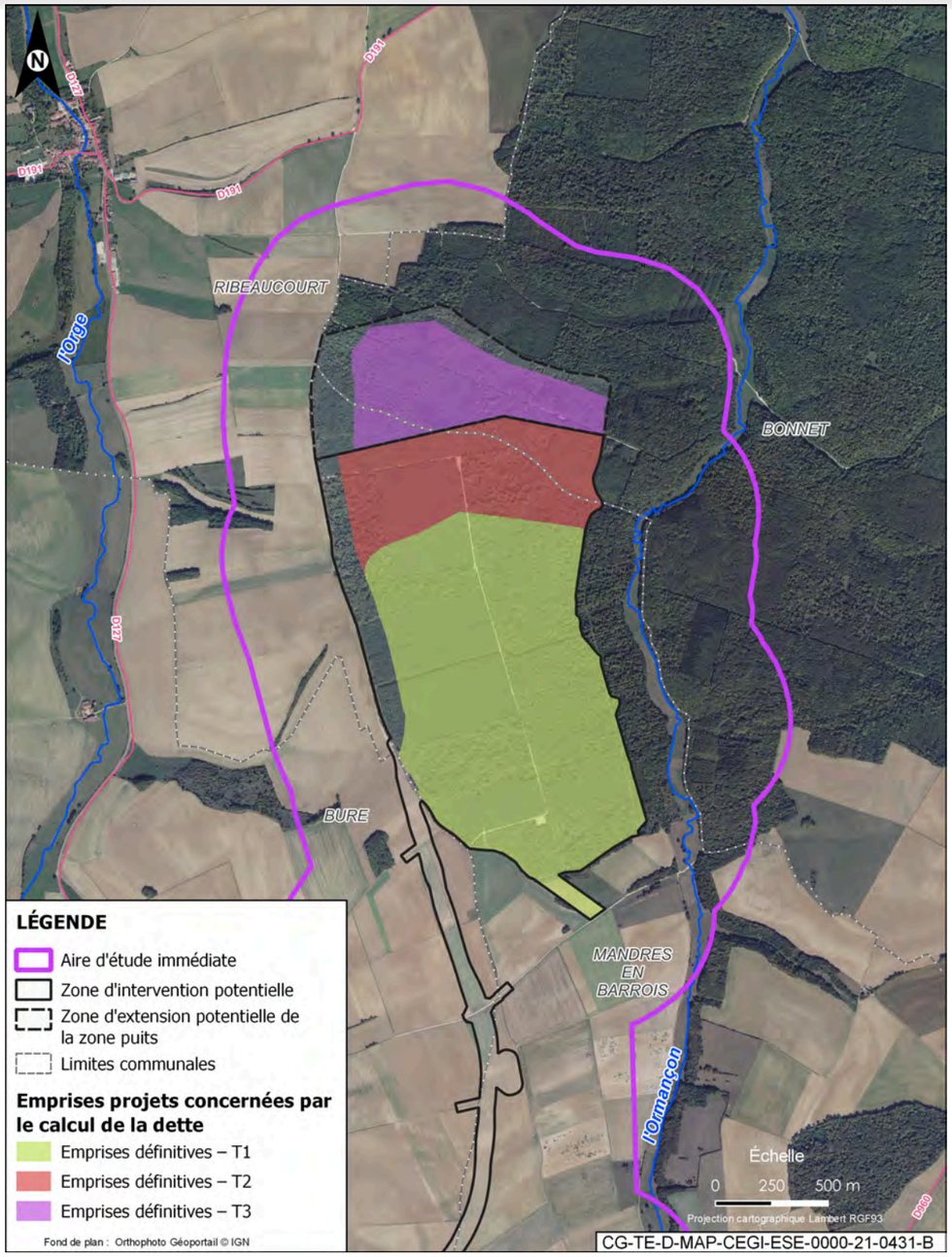


Figure 6-31 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de la zone puits

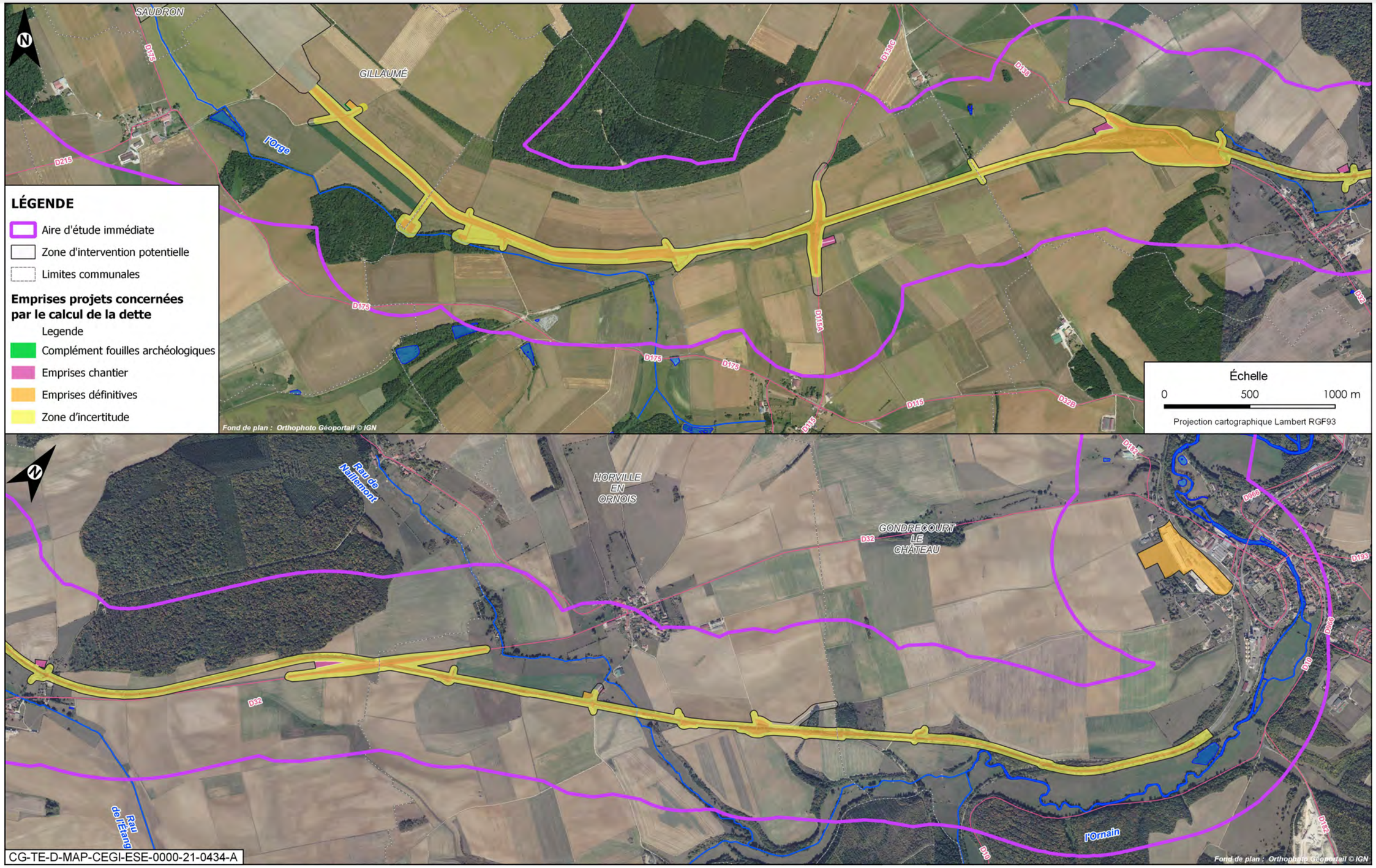


Figure 6-32 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de l'installation terminale embranchée

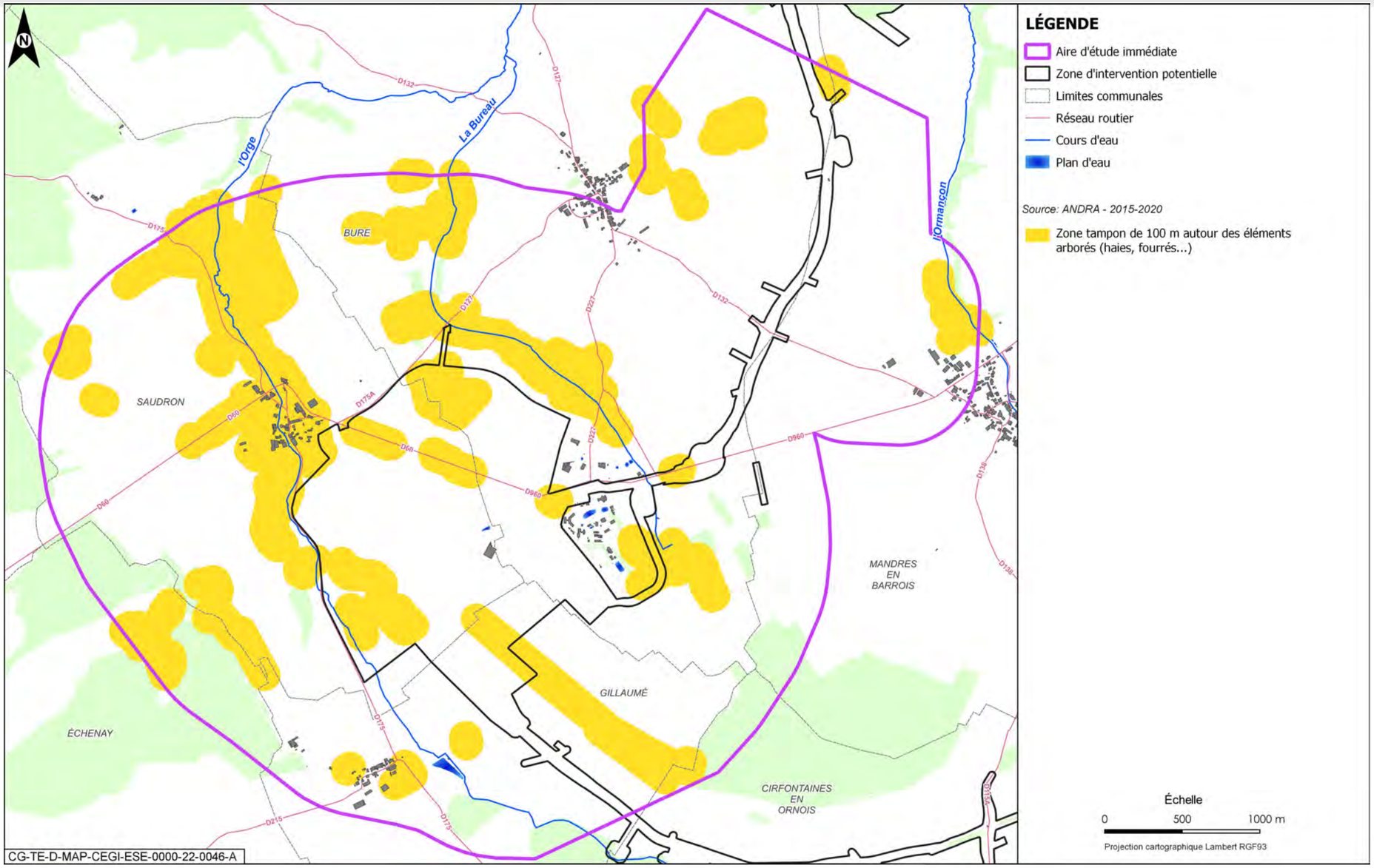


Figure 6-33 *Zone tampon de 100 mètres définie autour des éléments arborés de la zone descenderie pour le cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert*

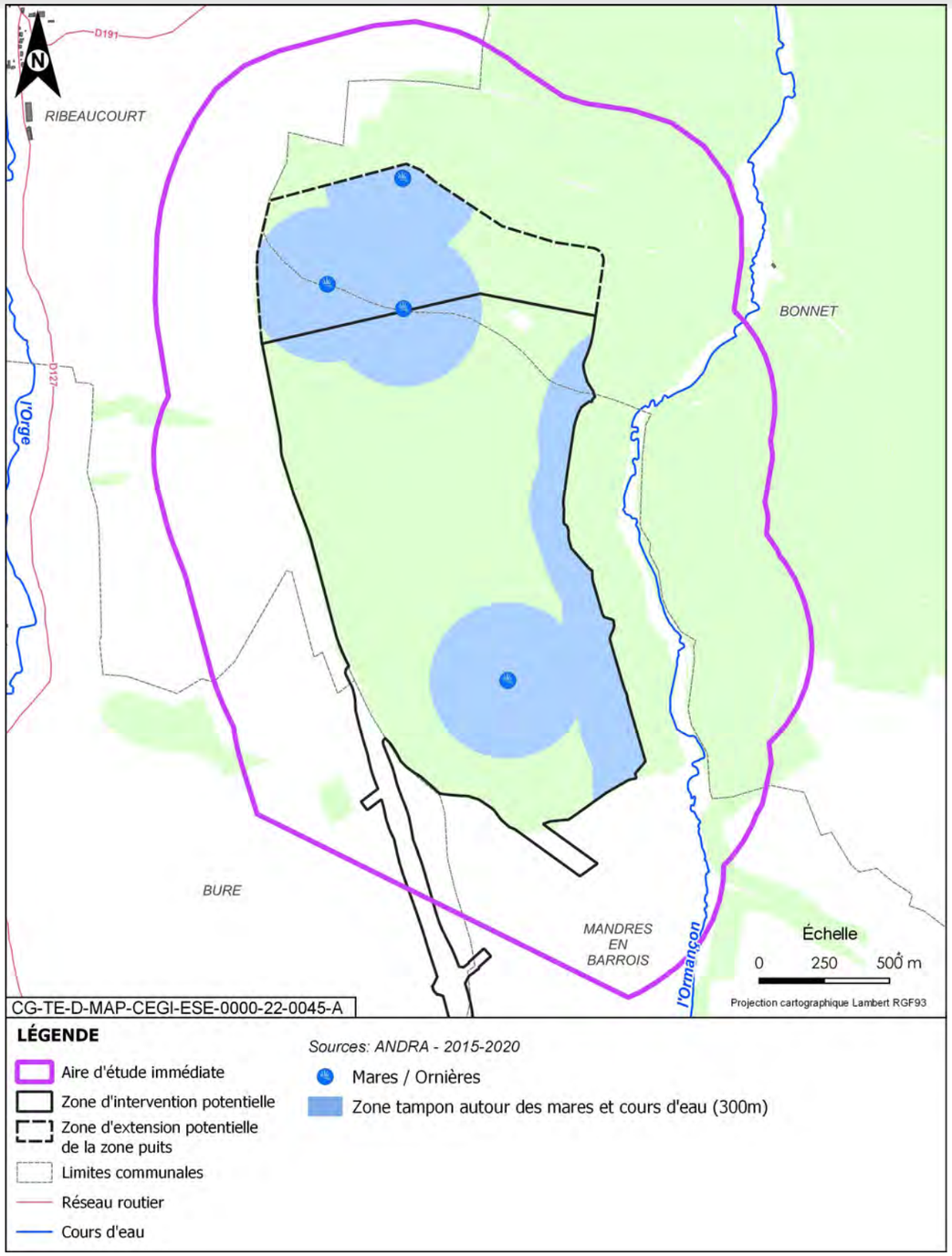


Figure 6-34 Zone tampon de 300 mètres définie autour des mares et cours d'eau dans la zone puits pour le cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec mares/étangs (reproduction)

6.4 Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000

La réglementation prévoit que les projets soumis à évaluation environnementale, ce qui est le cas du projet global Cigéo, doivent faire l'objet d'une évaluation des incidences sur les sites Natura 2000.

L'article R. 414-23 du code de l'environnement précise que l'évaluation est proportionnée à l'importance du document ou de l'opération et aux enjeux de conservation des habitats et des espèces en présence.

Le recensement des sites Natura 2000 s'appuie sur les données administratives concernant les milieux naturels et le patrimoine écologique. Les sites institutionnels suivants ont été consultés :

- les sites des DREAL de Lorraine et Champagne-Ardenne, à présent regroupées en DREAL Grand Est ;
- le site de l'INPN (inventaire national du patrimoine naturel) pour la consultation des fiches descriptives des différents sites (FDS)[30].

Les données techniques (état initial, gestion, données cartographiques) proviennent de la consultation des documents d'objectifs disponibles auprès des opérateurs de chaque site Natura 2000.

6.4.1 Méthode de traitement et d'analyse des données

L'évaluation des incidences sur les sites Natura 2000 porte spécifiquement sur le patrimoine naturel d'intérêt européen à l'origine de la désignation des sites, c'est-à-dire les espèces et habitats inscrits dans le FSD (formulaire standard de données) et/ou dans l'arrêté ministériel de désignation du site (ZSC ou ZPS) et/ou dans le diagnostic écologique validé du DOCOB.

Dans la présente analyse, il est tenu compte à la fois des espèces/habitats du FSD en ligne sur le site de l'INPN (données officielles transmises à la Commission européenne, à prendre en compte du point de vue réglementaire) et des données du DOCOB.

L'analyse est basée sur les inventaires réalisés dans le cadre de l'évaluation environnementale des incidences du projet global Cigéo pour le milieu naturel (cf. Volume IV de la présente étude d'impact). L'évaluation des incidences Natura 2000 n'a pas donné lieu à des inventaires spécifiques.

En région Grand Est et pour les départements concernés par le projet global Cigéo, les FSD ont été actualisés en février 2020, alors que la plupart des DOCOB ont été rédigés entre 2000 et 2016, contenant de ce fait des informations moins récentes sur les espèces ayant servi à la désignation des sites que les FSD (certaines espèces mentionnées dans les dernières versions des FSD ne figurent par exemple pas dans les DOCOB).

La présente étude prend en considération les incidences induites par la réalisation des différentes opérations et les différentes phases (phase chantier, phase d'exploitation, phase de démantèlement) composant le projet global Cigéo.

Enfin, pour quantifier les incidences, l'analyse s'est fondée sur une comparaison entre les surfaces d'habitats impactées par le projet au regard des surfaces disponibles à l'échelle du/des site(s) Natura 2000, ainsi que sur l'état de conservation et les dynamiques de populations d'espèces. Ainsi, le caractère significatif des incidences est évalué à l'échelle du/des site(s) Natura 2000.

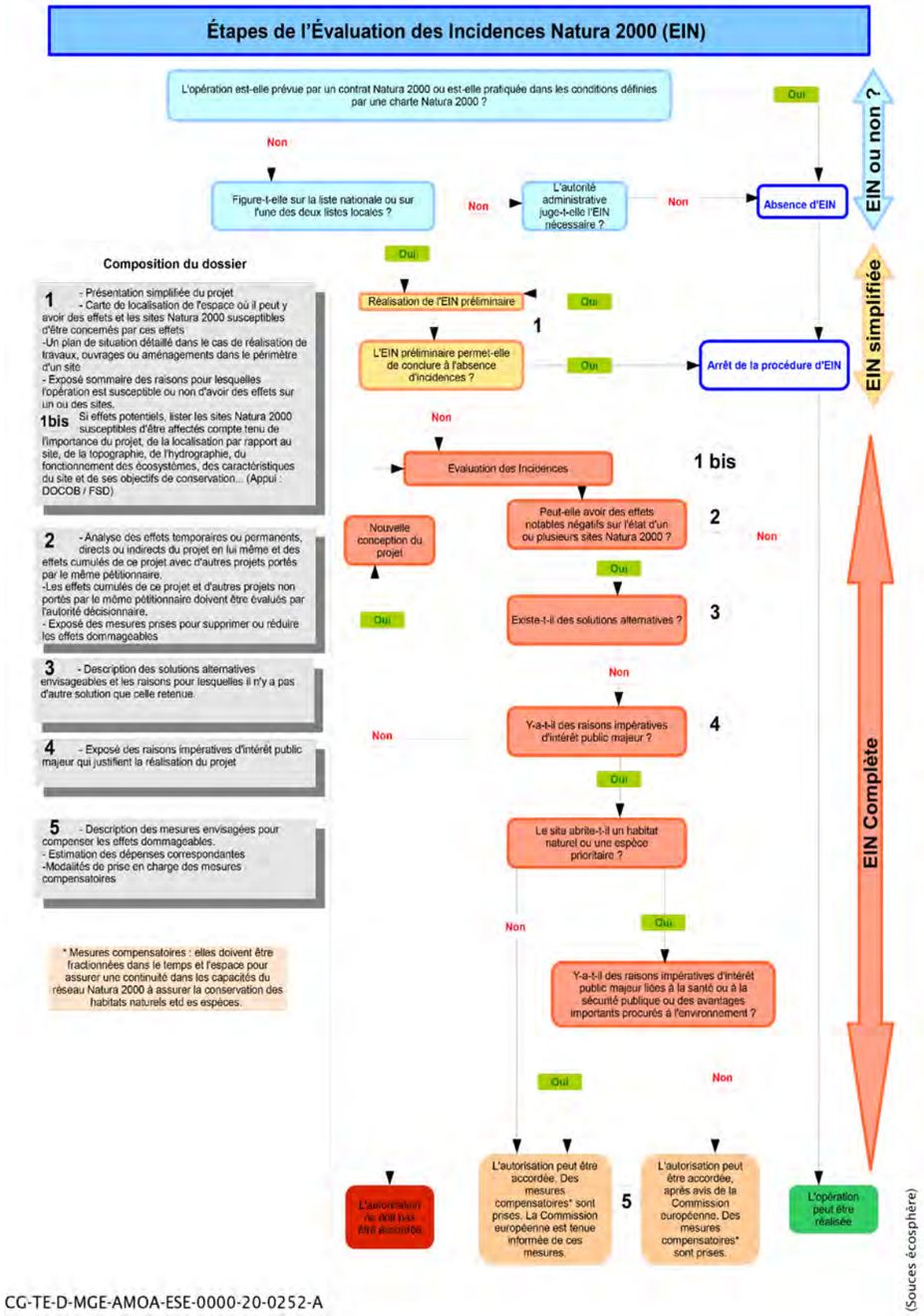


Figure 6-35 Étapes de l'évaluation des incidences Natura 2000

[30] https://inpn.mnhn.fr/accueil/index.

Conformément aux attentes de la DREAL Grand Est, la réflexion menée pour la rédaction du présent dossier d'évaluation des incidences est détaillée dans le logigramme de la figure 6-35 (source : « Étapes de l'évaluation des incidences natura 2000 (EIN) » (172)).

6.4.2 Définition des zones d'études

Les objectifs de l'étude des incidences Natura 2000 ne sont pas les mêmes que ceux de l'étude d'impact. L'étude d'impact identifie les effets (directs ou indirects) du projet sur l'ensemble des espèces et habitats présents dans ou à proximité du projet.

L'étude des incidences sur les sites Natura 2000 analyse les effets du projet uniquement sur les espèces et habitats d'intérêt communautaire ayant justifié la désignation des sites. Elle doit vérifier si des interactions sont possibles entre les espèces et habitats ayant justifié la désignation des sites et le projet et que le projet est compatible avec les objectifs de conservation des sites Natura 2000.

6.4.2.1 Définition de l'aire d'étude immédiate

L'aire d'étude immédiate, telle que définie dans le volume III, correspond à l'aire d'étude centrée sur la zone impactée par la réalisation des travaux de construction des installations du projet global Cigéo (à l'exception des opérations sur la ligne 400 kV et de l'expédition et du transport des colis traités spécifiquement), augmentée d'une zone de 500 mètres de part et d'autre. Elle inclut donc le périmètre opérationnel en phase travaux et en phase fonctionnement.

Cette aire d'étude est utilisée pour caractériser l'état initial du milieu naturel et permet d'acquérir une connaissance détaillée du milieu (habitats naturels, faune, flore), d'en apprécier la biodiversité et d'évaluer les effets positifs ou négatifs éventuels.

6.4.2.2 Critères retenus pour la définition des zones d'influence ou aire d'étude élargie

La zone d'influence correspond à l'espace dans lequel les effets du projet sont potentiellement perceptibles, qu'il s'agisse d'effets directs (au niveau de l'emprise du projet) ou d'effets indirects.

La zone d'influence est fonction de la nature du projet et des milieux naturels environnants. Les incidences d'un projet sur son environnement peuvent être plus ou moins étendues (poussières, bruit, rejets dans le milieu aquatique…).

L'évaluation identifie s'il existe des liens fonctionnels entre les espèces ou les habitats ayant justifié la désignation des sites Natura 2000 et le projet global Cigéo, et si l'altération et/ou la suppression de tels liens peuvent porter atteinte au maintien ou au rétablissement du bon état de conservation des habitats et des espèces qui ont justifié leur classement.

Concernant le projet global Cigéo, et afin de s'assurer d'une prise en compte exhaustive des enjeux potentiels, cette étude s'est référée aux exigences les plus fortes actuellement en vigueur pour évaluer cette zone d'influence. Ainsi, nous avons retenus les critères utilisés pour les études des projets éoliens qui sont connus pour impacter particulièrement les oiseaux et les chauves-souris (espèces à domaine vital important).

6.4.2.2.1 Zone d'influence du centre de stockage Cigéo

Le centre de stockage Cigéo a été conçu afin d'éviter les sites Natura 2000. Ce dernier n'intercepte directement aucun site Natura 2000.

En première approche, plusieurs effets du centre de stockage Cigéo sont susceptibles d'affecter les sites Natura 2000 plus ou moins éloignés : impacts associés à des rejets liquides, à des émissions de poussières, à des rejets gazeux, au bruit et aux vibrations, à une pollution lumineuse, à la destruction ou l'altération d'habitats et de ressources utilisées par les espèces animales d'intérêt communautaire.

À ce titre, la zone d'influence du centre de stockage Cigéo sur les sites Natura 2000 voisins a été déterminée selon les critères suivants :

- les sites Natura 2000 dont la désignation est justifiée par la présence de chiroptères ou d'oiseaux d'intérêt communautaire, dans un rayon de 30 km du centre de stockage Cigéo. Cette distance est justifiée par les capacités maximales de déplacements quotidiens des individus entre leur gîte et leur zone de chasse (cf. Chapitre 2 du volume V de la présente étude d'impact) ;
- les sites Natura 2000 localisés dans le même bassin topographique que le centre de stockage Cigéo et en aval hydraulique par rapport aux installations et aux rejets liquides locaux (vers les cours d'eau de l'Orge, de la Bureau et de l'Ormançon) ;
- les sites Natura 2000 potentiellement impactés par des pollutions temporaires ou permanentes lors des phases chantier ou exploitation (rejet de gaz, émissions de poussières, bruit, vibration ou pollution lumineuse).

6.4.2.2.2 Zone d'influence des opérations des autres maîtres d'ouvrages

Pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage nécessaires au fonctionnement du centre de stockage Cigéo :

RTE

- neuf pylônes de la ligne 400 kV sous la maîtrise d'ouvrage de RTE, sur lesquels des travaux seront réalisés, sont implantés dans des sites Natura 2000. Concernant la ligne 400 kV, le linéaire est déjà existant, ainsi le paysage actuel ne sera pas modifié par les travaux. Les milieux naturels ont été analysés sur une aire d'étude de 500 mètres de part et d'autre de la ligne soit une zone d'influence de 1 km de large ;
- pour le poste de transformation RTE et son raccordement, les effets seront de moindre ampleur que ceux du centre de stockage Cigéo. Compte tenu de la localisation de cette opération interconnectée avec le centre de stockage et de sa surface par rapport à ce dernier, la zone d'influence considérée est incluse dans celle du centre de stockage Cigéo précisée au chapitre précédent.

Conseil départemental 52

- pour la déviation de la route départementale D60/960, les effets seront de moindre ampleur que ceux du centre de stockage. Compte tenu de la localisation de cette opération interconnectée avec le centre de stockage et de la surface nécessaire par rapport à ce dernier, la zone d'influence considérée est incluse dans celle du centre de stockage Cigéo précisée au chapitre précédent.

SNCF Réseau

- la zone d'influence choisie pour la réhabilitation de la ligne ferroviaire 027000 dont le tracé n'intercepte pas directement de sites Natura 2000, est de **5** km centré sur la voie ferrée. Ce linéaire est déjà existant et il est régulièrement entretenu. Ainsi le paysage actuel ne sera pas modifié par la remise en état de ce linéaire et l'incidence pour les espèces à grands déplacements réguliers (supérieurs à 5 km) est considéré comme très faible.

Syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain

- la zone d'influence sera à préciser pour l'opération d'adduction d'eau potable du projet global Cigéo. Ces travaux de faibles ampleurs n'auront que des effets temporaires et seront réalisés à l'écart des emprises des sites Natura 2000. Toutefois, cette zone d'influence est incluse dans l'aire d'influence de l'ensemble du projet global Cigéo. Les procédures liées aux autorisations de ces opérations d'adduction d'eau potable feront l'objet d'évaluations environnementales qui actualiseront la présente étude le cas échéant.

6.4.3 Évaluation préliminaire : sites Natura 2000 susceptibles d'être affectés

28 sites Natura 2000 localisés dans la zone d'influence (rayon de 30 km du centre de stockage) du projet global Cigéo ont été identifiés comme susceptibles d'être affectés. Pour chaque site, il est identifié si celui-ci abrite des chauves-souris ou des oiseaux d'intérêt communautaire ayant permis la désignation du site et s'il se trouve en aval hydraulique par rapport au centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre ci-dessous).

Pour chaque site Natura 2000 retenu pour l'évaluation préliminaire, les données reprises sont extraites du FSD et du DOCOB. Pour rappel, en région Grand Est et pour les départements concernés par le projet global Cigéo, les FSD ont été actualisés en février 2020, pour transmission à la Commission européenne ; alors que la plupart des DOCOB ont été rédigés lors de la désignation des sites ou quelques temps après, entre 2000 et 2016, contenant de ce fait des informations moins récentes que les FSD.

Conformément aux exigences des réglementations nationales et européennes, les éléments pris en compte pour l'évaluation des incidences sont les éléments de connaissances les plus récents. En conséquence, concernant les espèces ayant servi à la désignation des sites, ce sont les FSD qui font foi.

Pour chaque site, sont indiqués :

- les habitats ayant justifié la désignation du site ;
- les espèces ayant justifié la désignation du site, avec leur statut (résidence, reproduction, concentration, hivernage ou hibernation) ;
- les objectifs de gestion et de conservation du site.

En première approche, le projet global Cigéo est donc susceptible d'affecter de manière significative 14 sites Natura 2000. À ce titre, une évaluation plus précise des incidences du projet global Cigéo doit être réalisée en application de l'article R. 414-23, III, du code de l'environnement (cf. Tableau 6-18).

6.4.4 Évaluation détaillée des sites Natura 2000 retenus

6.4.4.1 Méthodologie d'évaluation des incidences Natura 2000

L'évaluation des incidences Natura 2000 porte sur les habitats et les espèces d'intérêt communautaire ayant justifié la désignation des sites Natura 2000 présents dans la zone d'influence du projet global Cigéo.

Dans le cadre du projet global Cigéo, l'Andra et les autres maîtres d'ouvrage se sont engagés dans le cadre du développement du projet à l'élaboration d'un panel de mesures, afin d'éviter et de réduire l'impact du projet global Cigéo sur le milieu naturel (cf. Volume IV de la présente étude d'impact).

Ces mesures s'appliquent également aux habitats et aux espèces d'intérêt communautaire et permettent d'évaluer si le projet remet en cause ou non le bon état de conservation des habitats et espèces ayant permis la désignation des sites Natura 2000, après application de ces mesures.

6.4.4.2 Analyse des effets et incidences du projet sur la faune, la flore et les habitats

Tout projet d'aménagement peut engendrer des impacts plus ou moins importants sur les milieux naturels, et sur les espèces qui leur sont associées. Globalement, la nature des incidences peut être classée comme suit :

- **incidence directe :** incidence directement attribuable aux travaux et aménagements projetés ;
- **incidence indirecte :** incidence différée dans le temps ou dans l'espace, attribuable à la réalisation des travaux et aménagements ;
- **incidence temporaire :** incidence liée à la phase de réalisation des travaux, nuisances de chantier, notamment la circulation de navires, bruit, vibrations, turbidité, odeurs. L'incidence temporaire s'atténue progressivement jusqu'à disparaître ;
- **incidence permanente :** incidence qui ne s'atténue pas d'elle-même avec le temps. Une incidence permanente est dite réversible si la cessation de l'activité la générant suffit à la supprimer.

L'importance de l'incidence est évaluée, en cohérence avec les méthodologies développées pour l'évaluation des incidences sur les milieux naturels (cf. 6.2.2 du présent volume) selon cinq niveaux de gradation :

- **incidence très faible :** incidence suffisamment faible pour que l'on puisse considérer que le projet n'a pas d'incidence ;
- **incidence faible** : incidence dont l'importance ne justifie pas de mesure environnementale réductrice ;
- **incidence modérée** : incidence dont l'importance peut justifier une mesure environnementale réductrice ou compensatoire ;
- **incidence forte** : incidence dont l'importance justifie une mesure environnementale réductrice ou compensatoire.
- **incidence très forte :** incidence dont l'importance justifie une mesure environnementale compensatoire du fait d'une destruction ou dégradation très importante d'habitats ou d'espèces à enjeu fort à très fort, qui remet en cause le cycle biologique d'une espèce et/ ou de l'état de conservation de son habitat.

6.4.4.3 La description des mesures

S'il résulte des étapes précédentes que le projet est toujours susceptible d'avoir des effets significatifs dommageables, sur l'état de conservation des habitats naturels et des espèces qui ont justifié la désignation d'un ou des sites, il est présenté pour chaque site des mesures d'atténuation ou de suppression :

- si les mesures complémentaires envisagées permettent alors de conclure à l'absence d'atteinte significative aux objectifs de conservation, l'évaluation est terminée ;
- si les mesures complémentaires envisagées ne permettent pas de conclure à l'absence d'atteinte significative aux objectifs de conservation, l'évaluation doit être approfondie.

Lorsque, malgré les mesures précédentes des effets significatifs dommageables subsistent, le dossier d'évaluation devra exposer en outre :

- la description des solutions alternatives envisageables, des raisons pour lesquelles il n'existe pas d'autre solution que celle retenue et des éléments qui permettent de justifier la réalisation du projet ;
- la description des mesures envisagées pour compenser les effets dommageables, que les mesures prises ne peuvent supprimer. Si présents, les mesures compensatoires doivent permettre une compensation efficace et proportionnée au regard de l'atteinte portée aux objectifs de conservation du ou des sites Natura 2000 concernés et du maintien de la cohérence globale du réseau Natura 2000. Ces mesures sont mises en place selon un calendrier permettant d'assurer une continuité dans les capacités du réseau Natura 2000 à assurer la conservation des habitats naturels et des espèces ;
- l'estimation des dépenses correspondantes (développées dans le volume IV de la présente étude d'impact).

Tableau 6-17 Sites Natura 2000 présents au sein de la zone d'influence du projet global Cigéo

Site Natura 2000	Type	Distance minimale au projet (aire immédiate)	Dans un rayon de 30 km et avec chauves-souris et oiseaux à l'origine de la désignation du site	Dans le bassin versant topographique du centre de stockage Cigéo (aval hydraulique) et sensibilité vis-à-vis d'autres pollutions
FR4100180 Bois de Demange, Saint-Joire	ZSC	Dans l'aire d'étude immédiate (Ligne ferroviaire 027000) 1,5 km (Cigéo ZP)	Non	Oui
FR2102001 Anciennes carrières souterraines de Chevillon et Fontaines sur Marne	ZSC	15 km (Cigéo, ZD)	Oui	Non
FR4100247 Carrières du Perthois : gîtes à chauves-souris	ZSC	16 km (Cigéo ZD)	Oui	Non
FR2100247 Pelouses et fruticées de la région de Joinville	ZSC	10 km (Cigéo, ZD)	Oui	Non
FR4100181 Forêts de la vallée de la Méholle	ZSC	8,5 km (ligne ferroviaire 027000) 11 km (Cigéo ITE)	Non	Non
FR4112008 Vallée de la Meuse	ZPS	12 km (Cigéo ITE et ligne ferroviaire 027000) Inclus (Pylônes 257 à 259 de la ligne 400 kV)	Oui	Non
FR4100236 Vallée de la Meuse (secteur Sorcy Saint-Martin)	ZSC	16 km (ligne ferroviaire 027000) 21 km (Cigéo ITE)	Non	Non
FR4100182 Forêts de Gondrecourt-le-Château	ZSC	0,5 km (Cigéo ITE et ligne ferroviaire 027000) À proximité (Pylônes 232, 233, 239 à 243 de la ligne 400 kV)	Non	Oui
FR4100154 Pelouses, forêts et fort de Pagny-la-Blanche-Côte	ZSC	14 km (Cigéo ITE et ligne ferroviaire 027000)	Oui	Non
FR4100166 Hauts de Meuse	ZSC	24 km (ligne ferroviaire 027000) 34 km (Cigéo ZD)	Non	Non
FR2100323 Le cul du Cerf à Orquevaux	ZSC	19 km (Cigéo ITE)	Oui	Non
FR4100191 Milieux forestiers et prairies humides des vallées du Mouzon et de l'Anger	ZSC	22 km (ligne ferroviaire 027000 et Cigéo ITE)	Oui	Non
FR4100163 Pelouses du Toulois	ZSC	25 km (Cigéo ITE et ligne ferroviaire 027000)	Oui	Non
FR4100230 Vallée de la Saônelle	ZSC	15 km (Cigéo ITE et ligne ferroviaire 027000)	Oui	Non
FR2100291 Vallée du Rognon, de Doulaincourt à la confluence avec la Marne	ZSC	16 km (Cigéo ZD)	Oui	Non
FR2100319 Vallées du Rognon et de la Sueurre et massif forestier de la Crête et d'Ecot la Combe	ZSC	27 km (Cigéo ZD, ITE)	Oui	Non
FR4100162 Pelouses d'Allamps et zones humides avoisinantes	ZSC	22 km	Non	Non
FR4100216 Marais de Pagny-sur-Meuse	ZSC	22 km (ligne ferroviaire 027000) 25 km (Cigéo ITE)	Non	Non

Site Natura 2000	Type	Distance minimale au projet (aire immédiate)	Dans un rayon de 30 km et avec chauves-souris et oiseaux à l'origine de la désignation du site	Dans le bassin versant topographique du centre de stockage Cigéo (aval hydraulique) et sensibilité vis-à-vis d'autres pollutions
FR2100317 Forêt de Doulaincourt	ZSC	20 km	Non	Non
FR2100318 Bois de Villiers-sur-Marne, Buxières-les-Froncles, Froncles et Vouécourt	ZSC	22 km (Cigéo ZD)	Non	Non
FR2100322 Val de la Joux et la Vouette à Roches-sur-Rognon	ZSC	16 km (Cigéo ZD)	Non	Non
FR2112011 Bassigny	ZPS	23 km (Cigéo ITE)	Oui	Non
FR4112011 Bassigny, partie Lorraine	ZPS	30 km (Cigéo ITE)	Oui	Non
FR2100320 Forêt d'Harréville-les-Chanteurs	ZSC	26 km (Cigéo ITE)	Non	Non
FR4110061 Marais de Pagny-sur-Meuse	ZPS	22 km (ligne ferroviaire 027000) 25 km (Cigéo ITE)	Oui	Non
FR2110091 Étang de la Horre	ZPS	> 30 km, mais inclut les pylônes 103 à 108 de la ligne 400 kV	Oui	Non
FR2112001 Herbages et cultures des vallées de la Voire, de l'Héronne et de la Laines	ZPS	340 mètres du pylône 115 de la ligne 400 kV	Oui	Oui
FR2100332 Étang de la Horre	ZSC	> 30 km, mais inclut les pylônes 106 et 107 de la ligne 400 kV	Oui	Non

ZP : zone puits ; ZD : zone descenderie ; ITE : installation terminale embranchée

Code couleur : en vert : ZSC, en bleu : ZPS

Tableau 6-18 Synthèse par site des groupes (habitats et espèces) retenus pour l'évaluation détaillée

Référence et nom du site	Habitat Natura 2000	Plantes	Insectes	Amphibiens	Mammifères	Oiseaux	Poissons	Mollusques	Crustacés
FR4100180 - Bois de Demange, Saint-Joire	X		X				X		
FR2102001 - Anciennes carrières souterraines de Chevillon et Fontaines sur Marne					X				
FR4100247 - Carrières du Perthois : gîtes à chauves-souris					X				
FR2100247 « Pelouses et fruticées de la région de Joinville »					X				
FR4112008 - Vallée de la Meuse						X			
FR4100182 - Forêts de Gondrecourt-le-Château	X								
FR4100154 - Pelouses, forêts et fort de Pagny-la-Blanche-Côte	X		X		X				
FR4100191 - Milieux forestiers et prairies humides des vallées du Mouzon et de l'Anger	X		X		X		X		
FR2100291 « Vallée du Rognon, de Doulaincourt à la confluence avec la Marne »					X				
FR2112011 - Bassigny						X			
FR4112011 - Bassigny, partie Lorraine						X			
FR2110091 - Étang de la Horre						X			
FR2112001 - Herbages et cultures des vallées de la Voire, de l'Héronne et de la Laines						X			
FR2100332 - Étang de la Horre	X		X	X	X		X		

6.4.5 Cumul des incidences du projet global Cigéo avec d'autres projets existants ou approuvés

Ce chapitre répond à l'objectif fixé à l'article R. 122-5, 11, 5°e) du code de l'environnement, qui prévoit que l'étude d'impact analyse le cumul des incidences du projet avec d'autres projets existants ou approuvés (projets réalisés ou ayant fait l'objet d'une décision leur permettant d'être réalisés lors du dépôt du dossier de demande). Sont compris, en outre, les projets ayant fait l'objet :

- d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'art R. 181-14 et d'une consultation du public ;
- d'une évaluation environnementale au titre du code de l'environnement et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

La notion de cumul des incidences se réfère à la possibilité que les impacts temporaires ou permanents occasionnés par le projet global Cigéo s'ajoutent à ceux d'autres projets existants ou approuvés dans le même secteur ou à proximité de celui-ci, engendrant ainsi des effets de plus grande ampleur sur le site.

L'évaluation du cumul des incidences porte sur un certain nombre de composantes environnementales correspondant aux préoccupations majeures identifiées dans le cadre de l'analyse environnementale.

La méthode pour l'évaluation du cumul des incidences du projet global Cigéo avec d'autres projets existants ou approuvés est présentée en détails au chapitre 16.2 du présent volume.

7

Population, emploi, activités économiques et habitat - Méthodes

7.1 Aires d'étude pour la population, l'emploi et les activités économiques 208
7.2 Population 209
7.3 Emploi et activités économiques 209
7.4 Habitat 211

Les données relatives à la population, à l'emploi, aux activités économiques et à l'habitat présentées dans l'état initial se basent sur des données issues du SRADDET, du SCOT du Pays Barrois et de la région Grand Est (ces documents utilisent les données de l'Insee) et des données directement issues de l'Insee de différents millésimes.

Le Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET (6)) du Grand Est a été approuvé le 24 janvier 2020. Son objectif est de présenter la stratégie régionale du Grand Est à l'horizon 2050. Certains des éléments présentés dans le volume III de la présente étude d'impact sont issus du diagnostic territorial/synthèse de l'état des lieux et enjeux de la région Grand Est, adoptée le 22 novembre 2019.

Les dernières données Insee utilisées sont issues du recensement de la population 2017. Les données Insee proviennent des dossiers complets France métropolitaine et Grand Est mais également des bases de données téléchargeables sur le site internet de l'Insee qui ont fait l'objet d'un traitement SIG et Excel.

7.1 Aires d'étude pour la population, l'emploi et les activités économiques

L'étude de la population, de l'emploi et des activités économiques se base sur les aires d'étude suivantes :

- aire d'étude éloignée : la région Grand Est (les informations recueillies à cette échelle sont principalement issues du SRADDET de la Région Grand Est (6)) ;
- aire d'étude rapprochée : cercle de 50 km autour du centre de stockage Cigéo avec un zoom à 20 km autour du centre de stockage Cigéo. À noter que certaines données présentées dans l'aire d'étude rapprochée s'appuient sur les SCoT du Pays Barrois et Haut-Marnais (4, 5), et permettent d'apporter des précisions complémentaires. Certaines analyses peuvent donc porter sur des secteurs qui diffèrent des cercles de 50 km et 20 km autour du projet ;
- aire d'étude immédiate : zone de 500 mètres autour des opérations du projet. Cette aire d'étude immédiate comprend les 27 communes listées dans le tableau 7-2 ci-dessous ;
- aire d'étude spécifique définie pour les travaux de sécurisation de la ligne électrique 400 kV qui s'étendent sur 124 km d'est en ouest.

Le tableau 7-1 indique le nombre de communes sur chaque aire d'étude pour la population, l'emploi et les activités économiques.

Tableau 7-1 Nombre de communes présentes sur les aires d'étude prises pour l'étude de la population, de l'emploi et des activités économiques

Aire d'étude	Nombre de communes
Aire d'étude éloignée (Grand Est)	5 121
Aire d'étude rapprochée (50 km)	678
Aire d'étude rapprochée (20 km)	112
Aire d'étude immédiate	27

Tableau 7-2 Communes de l'aire d'étude immédiate

Commune	Département	Commune	Département
Abainville	Meuse	**Longeaux**	Meuse
Bonnet	Meuse	**Mandres-en-Barrois**	Meuse
Boviolles	Meuse	**Menaucourt**	Meuse
Bure	Meuse	**Naix-aux-Forges**	Meuse
Cirfontaines-en-Ornois	Haute-Marne	**Nançois-sur-Ornain**	Meuse
Dainville-Bertheville	Meuse	**Nantois**	Meuse
Demange-Baudignécourt	Meuse	**Ribeaucourt**	Meuse
Échenay	Haute-Marne	**Saint-Amand-sur-Ornain**	Meuse
Gillaumé	Haute-Marne	**Saint-Joire**	Meuse
Givrauval	Meuse	**Saudron**	Haute-Marne
Gondrecourt-le-Château	Meuse	**Tréveray**	Meuse
Horville-en-Ornois	Meuse	**Tronville-en-Barrois**	Meuse
Houdelaincourt	Meuse	**Velaines**	Meuse
Ligny-en-Barrois	Meuse		

7.2 Population

7.2.1 État initial

L'état initial (volume III de la présente étude d'impact) est basé sur les dernières données Insee de population et de dynamique démographique (naissances, décès, solde naturel et solde migratoire) issues du recensement de la population 2017.

L'état initial présente également des données Insee de différents millésimes (remontant à 1968) pour caractériser les évolutions de population.

La population est étudiée à travers les sous-thématiques suivantes :

- **la répartition de la population** sur les différentes aires d'étude, comprenant la description de la population, sa densité et les variations territoriales de population ;
- la **structure par âge de la population**, analysée sur les aires d'étude éloignée, rapprochée (50 et 20 km) et immédiate, par les paramètres ci-dessous. L'aire d'étude spécifique à la ligne électrique 400 kV n'est pas développée ici ; l'analyse sur cette aire d'étude sera complétée lors d'actualisations futures de l'étude d'impact :
  - ✓ la répartition par tranches d'âge ;
  - ✓ l'indice de jeunesse et de vieillissement sur les aires d'étude éloignée, rapprochée (50 et 20 km) et immédiate ;
- le **solde naturel et migratoire de la population**, étudiée à travers :
  - ✓ la variation annuelle de population pour toutes les aires d'étude ;
  - ✓ le solde naturel pour toutes les aires d'étude ;
  - ✓ le solde migratoire pour toutes les aires d'étude ;
  - ✓ la répartition géographique et la dynamique du territoire à l'échelle de l'aire d'étude éloignée (région Grand Est) afin de permettre une appréciation globale du territoire.

Le tableau 7-3 synthétise les sous-thématiques et paramètres étudiés par aire d'étude.

Tableau 7-3 Sous-thématiques analysées pour l'état initial de la population, par aire d'étude

Sous-thématique		Aire d'étude éloignée	Aire d'étude rapprochée	Aire d'étude immédiate	Aire d'étude spécifique 400 kV
Répartition de la population		X	X	X	X
Structure par âge de la population	Tranches d'âges	X	X	X	
	Indice de jeunesse et de vieillissement	X	X	X	
Solde naturel et migratoire de la population	Variation annuelle	X	X	X	X
	Solde naturel	X	X	X	X
	Solde migratoire	X	X	X	X
	Répartition géographique au sein du territoire et dynamique	X	L'échelle de l'aire d'étude éloignée permet une appréciation globale du territoire		

***X** : sous-thématique étudiée sur l'aire d'étude*

7.2.2 Évaluation des incidences

La population associée aux effectifs mobilisés (population présente temporairement sur le territoire) et créée (population qui s'installera de façon pérenne sur le territoire) est difficile à estimer.

Ainsi, l'incidence du projet global Cigéo et essentiellement du centre de stockage sur l'évolution de la population est issue des documents de planification territoriale (SCoT du Pays Barrois (5), PLUi Porte de Meuse – secteur Haute-Saulx (173) et PLUi en cours d'élaboration de la Communauté de communes du Val d'Ornois) ; les données concernant les emplois ayant été partagées avec les différents acteurs du territoire.

7.3 Emploi et activités économiques

7.3.1 État initial

L'état initial (volume III de la présente étude d'impact) est basé sur les dernières données Insee emploi, mobilités professionnelles et population issues du recensement de la population 2017 et également sur des exploitations particulières issues du SRADDET et de la région Grand Est (6). Les données Insee sur les établissements actifs sont issues des enregistrements au 31 décembre 2018 et les données Insee sur les équipements sont issues de la base permanente des équipements (BPE) mise à jour avec le dénombrement des équipements en 2019.

L'état initial présente également des données Insee de différents millésimes pour caractériser les évolutions en termes d'emploi.

Une partie des données sur le chômage provient de l'Observatoire régional de l'emploi et de la formation (OREF).

L'emploi et les activités économiques sont étudiés à travers les sous-thématiques suivantes :

- **la population active, le taux de chômage et l'emploi** sont décrits :
  - ✓ Sur les aires d'étude éloignée, rapprochée (50 et 20 km) et immédiate, par :
    - la population active ;
    - le taux de chômage et son évolution ;
    - l'évolution de l'emploi et sa répartition géographique ;
    - la composition socio-professionnelle de la population active ;
  - ✓ l'emploi en lien avec la densité de population est étudié sur les aires d'étude rapprochées (50 et 20 km) ainsi que sur l'aire d'étude immédiate, car l'échelle large de l'aire d'étude éloignée (région Grand Est) ne permet pas une analyse pertinente de ce paramètre ;
- les **pôles d'activités** économiques présentent les principales zones d'activités sur l'aire d'étude considérée. Pour les aires d'étude rapprochée (50 et 20 km) et immédiate, cette sous-thématique décrit les zones d'activités industrielles, artisanales et économiques de l'aire d'étude, ainsi que les principaux équipements et commerces présents. En effet, c'est au sein de ces aires d'étude d'une part que l'effet du projet de centre de stockage Cigéo pourrait se faire sentir, et d'autre part que le dimensionnement des services et équipements devrait s'adapter pour répondre aux besoins des personnes qui travailleraient pour ce projet ;
- la **répartition sectorielle des activités économiques** est décrite, sur toutes les aires d'étude, selon les secteurs d'activité de la nomenclature agrégée NA 2008. La répartition sectorielle est analysée au regard de la part relative du nombre d'établissements actifs (qualifiant un établissement en activité) et du nombre d'emplois salariés sur les aires d'étude considérées ;
- les **déplacements domicile-travail** sont étudiés à travers :
  - ✓ les flux de déplacements, analysés sur les aires d'étude éloignée et rapprochée (50 et 20 km). L'échelle restreinte de l'aire d'étude immédiate ne permet pas une analyse développée des flux de déplacement sur cette aire d'étude ;
  - ✓ la répartition modale des déplacements, analysée sur toutes les aires d'étude ;
  - ✓ l'indicateur du lieu de travail, analysée sur toutes les aires d'étude.

Le tableau 7-4 synthétise les sous-thématiques et paramètres étudiés par aire d'étude.

Tableau 7-4 Sous-thématiques analysées pour l'état initial de l'emploi et des activités économiques, par aire d'étude

Sous-thématique		Aire d'étude éloignée	Aire d'étude rapprochée	Aire d'étude immédiate	Aire d'étude spécifique 400 kV
Population active, taux de chômage et emploi	Population active dont chômeurs	X	X	X	X
	Taux de chômage et évolution	X	X	X	X
	Évolution de l'emploi et répartition géographique	X	X	X	X
	Composition socio-professionnelle	X	X	X	X
	Densité de population et emploi	L'échelle de la région est trop large pour permettre une analyse pertinente du lien entre emploi et densité de population	X	X	X
Pôles d'activités économiques	Zones d'activités industrielles, artisanales et économiques	X	X	X	X
	Equipements, commerces et services rendus à la population	X	X	X	X
Répartition sectorielle des activités économiques	Répartition par secteur d'activité des emplois salariés et établissements	X	X	X	X
	Evolution de l'emploi par secteur d'activité	X	X	X	X
Déplacements domicile-travail	Flux de déplacements	X	X	(non pertinent à cette échelle, axes de transport analysés au chapitre 12 volume III)	X
	Répartition modale des déplacements	X	X	X	X
	Indicateur du lieu de travail	X	X	X	X

X : sous-thématique étudiée sur l'aire d'étude

7.3.2 Évaluation des incidences

L'analyse des incidences directes est réalisée en prenant en compte les emplois mobilisés par le projet global Cigéo et les retombées fiscales.

7.3.2.1 Emplois mobilisés

L'estimation des emplois mobilisés est issue du rapport données d'entrée pour les acteurs du territoire en vue de préparer l'intégration du projet global Cigéo de juin 2016 (174). Ces données d'emploi intègrent les emplois pour le centre de stockage Cigéo, mais également pour les autres maîtres d'ouvrage du projet global.

Cette estimation est construite à dire d'experts, selon les projections des besoins métiers, au sein de l'Andra et de ses prestataires, au cours des différentes phases de vie du projet global Cigéo (aménagements préalables, construction, fonctionnement, jouvence et démantèlement, fermeture, etc.).

Le retour d'expérience du centre de Meuse/Haute-Marne et des centres de l'Aube est présenté à partir d'une étude réalisée par le cabinet Utopies en 2019 (175).

7.3.2.2 Retombées fiscales

L'analyse des retombées fiscales concernant le centre de stockage Cigéo est issue de « l'Évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue - Proposition de l'Andra Tome 1 et Tome 2 : chiffrage du centre de stockage Cigéo en phase esquisse », réalisée au stade esquisse en 2014 (176, 177). Cette analyse concerne la fiscalité locale et nationale.

Les retombées fiscales des autres opérations du projet global Cigéo ne sont pas présentées à ce stade des études.

L'analyse des incidences indirectes est réalisée en présentant les principaux objectifs des groupements d'intérêt public (178, 179) et les mesures du Projet de développement du territoire qui amplifieront les effets positifs du projet (174).

7.4 Habitat

7.4.1 État initial

Les données d'habitat de l'état initial sont issues des dernières données de l'Insee issues du recensement 2017, ainsi que d'une analyse de la carte topographique de l'institut géographique national et de visites de site.

L'étude de l'habitat est réalisée à travers :

- la **description du parc de logements** sur les aires d'étude éloignée (région Grand Est), rapprochée (50 et 20 km) et immédiate **;**
- l'**évolution de la construction de logements** sur les aires d'étude éloignée (région Grand Est), rapprochée (50 et 20 km) et immédiate ;
- la **précarité énergétique** de l'habitat, abordée à l'échelle des aires d'étude éloignée (région Grand Est) et rapprochée (50 et 20 km), en regard des considérations des documents de planification liées notamment aux thématiques de rénovation énergétique ;
- les **enjeux du SRADDET** analysés à l'échelle de l'aire d'étude éloignée (région Grand Est) ;
- la **structure des communes** de l'aire d'étude immédiate, permettant d'appréhender à une échelle plus fine l'habitat sur cette aire d'étude.

Le tableau 7-5 synthétise les sous-thématiques et paramètres étudiés par aire d'étude.

Tableau 7-5 Sous-thématiques analysées pour l'état initial de l'habitat, par aire d'étude

Sous-thématique	Aire d'étude éloignée	Aire d'étude rapprochée	Aire d'étude immédiate	Aire d'étude spécifique 400 kV
Parc de logements	X	X	X	
Évolution de la construction de logement	X	X	X	
Rénovation et précarité énergétique	X	X	Non pertinent à cette échelle et lien avec les documents de planification	
Enjeux du SRADDET	X	Non concerné à cette échelle		
Structure des communes	Non pertinent à cette échelle		X	X

x : sous-thématique étudiée sur l'aire d'étude

7.4.2 Évaluation des incidences

L'évolution de l'habitat lié au projet global Cigéo, engendré par l'évolution de la population est également difficile à estimer. Ainsi, comme pour la population, elle est issue des documents de planification territoriale.

8

Activités agricoles et sylvicoles - Méthodes

8.1	État initial des activités agricoles et sylvicoles	214
8.2	Évaluation des incidences sur les activités agricoles et du besoin de compensation	215
8.3	Détermination de la compensation collective agricole	217
8.4	Évaluation des incidences sur les activités sylvicoles et du besoin de compensation	219
8.5	Détermination de la compensation forestière	219

8.1 État initial des activités agricoles et sylvicoles

L'état initial des activités agricoles et sylvicoles s'appuie principalement sur les données publiées par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (et en particulier pour les activités agricoles sa base de données AGRESTE[31] regroupant l'ensemble des informations disponibles sur l'occupation des sols et leur usage agricole, l'activité des exploitations...).

L'état initial pour l'activité sylvicole prend également en compte les fiches sur la filière bois éditées en 2019 par département par la direction régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la région Grand Est.

Pour extraire et synthétiser certaines données très locales, l'Andra s'est rapprochée du Service régional de l'information statistique et économique (SRISE) et a régulièrement échangé avec différents acteurs concernés (exploitants, industriels de ce secteur d'activité.). Des données (2018 pour la dernière année d'actualisation) ont notamment été transmises par la DRAAF *via* une convention de mise à disposition temporaire de données du système intégré de gestion et de contrôle d'aide (SIGC) relevant de la politique agricole commune (PAC) dont le registre parcellaire graphique (RPG).

Certaines données sur l'activité agricole utilisées dans ces sources sont basées sur le dernier recensement agricole datant de 2010. Un nouveau recensement est programmé sur l'année 2020. Les éléments qui seront issus de ce recensement seront pris en compte en fonction de leur mise à disposition lors d'actualisation ultérieure de la présente étude d'impact.

Les données de l'emploi agricole sont issues des données INSEE 2017, parues en 2020. Elles sont diffusées selon la géographie en vigueur au 1er janvier 2020.

Ainsi, les principaux documents illustrant l'état initial sont :

- Boschiero, B. Grand Est Chiffres clés. Chambre d'agriculture Grand Est (2017) (180) ;
- Mémento Agreste Région Grand Est - Statistique agricole Bas-Rhin, Haut-Rhin, Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges - Edition 2018. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2018) (181) ;
- Mémento Agreste Région Grand Est - Statistique agricole Bas-Rhin, Haut-Rhin, Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges - Edition 2019. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2020) (182) ;
- Mémento Agreste Région Grand Est - Statistique agricole Bas-Rhin, Haut-Rhin, Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges - Edition 2020. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2021) (183) ;
- observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Grand Est - Mémento 2019. Chambre d'agriculture Grand Est; Institut national de l'origine et de la qualité; ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2019) (184) ;
- observatoire de la Bio en région Grand Est – Edition 2020, chiffres 2019. Bio en Grand Est (2020) (185) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton de Poissons. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018) (186) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton Gondrecourt-le-Château. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018) (187) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton Ligny-en-Barrois. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018) (188) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton de Montier-sur-Saulx. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018) (189) ;
- atlas régional Grand Est. Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt; Agreste Grand Est (2017) (190) ;
- agreste Grand Est : Statistique agricole : Mémento de l'emploi - Edition 2018. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2019) (191) ;
- la forêt du Grand Est. DRAAF Grand Est; Ministère de l'agriculture et de la pêche; INSEE; Fibois Grand Est; IGN (2019) (192) ;
- quelles disponibilités en bois en Grand Est État des lieux et projection aux horizons 2027 et 2037. IGN (2018) (193) ;
- filière forêt-bois - département de la Haute-Marne - Edition 2019. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ; DRAAF Grand Est ; INSEE Grand Est ; Fibois Grand Est (2019) (194)
- filière forêt-bois - département de la Meuse - Edition 2019. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ; DRAAF (195) ;

L'état initial est présenté :

- sur une aire éloignée correspondant aux départements de Haute-Marne et de Meuse et plus particulièrement quatre anciens cantons (trois en Meuse : Gondrecourt-le-Château, Montiers-sur-Saulx, Ligny-en-Barrois et un en Haute-Marne :Poissons pour couvrir les installations du centre de stockage Cigéo mais également les aménagements du projet global Cigéo dont les emprises agricoles sont les plus importantes et sur les aires rapprochées agricole et sylvicole correspondant aux communes concernées par la zone d'intervention potentielle du centre de stockage. Les quatre anciens cantons ont été retenus car ils couvrent les périmètres d'échange d'agrofournitures et de collecte céréalières des exploitations agricoles concernées par les emprises du centre de stockage Cigéo. Ces infrastructures des filières sont en particulier les silos agricoles, les concessionnaires de machinisme agricole, les ateliers de réparation, les magasins de pièces d'entretien et d'équipement d'élevage, les fromageries. Au-delà de ce périmètre, les échanges sont plus diffus. Ce choix du périmètre d'anciens cantons a été privilégié pour assurer la continuité de l'analyse de données agricoles historiques avant le redécoupage cantonal de 2014 ;
- sur une aire d'étude rapprochée correspondant aux communes concernées par des surfaces importantes du centre de stockage Cigéo sur les terres agricoles :
  - ✓ le groupe G7 correspondant aux sept communes concernées (Cirfontaines-en-Ornois, Gillaumé, Saudron, Bure, Mandres-en-Barrois, Gondrecourt-le-Château, Horville-en-Ornois) par l'ensemble des emprises agricoles consommées par le centre de stockage Cigéo ;
  - ✓ le groupe G3 correspondant aux trois communes (Gillaumé, Saudron, Bure) représentant plus de 80 % des emprises agricoles ;
- sur une aire d'étude immédiate correspondant à la zone d'intervention potentielle du centre de stockage ;
- sur un couloir de 500 mètres de part et d'autre de la ligne 400 kV.

Les aires d'étude pourraient être modifiées, si nécessaire, lors d'une actualisation ultérieure de la présente étude d'impact en fonction des solutions qui seront retenues pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage.

L'état radiologique initial a été analysé notamment sur le milieu biologique (produits agricoles et naturels). Les analyses réalisées sur les matrices biologiques terrestres (tissus animaux ou végétaux) sont présentées au chapitre 6.1.7 du présent volume. La méthode complète d'analyse de l'état radiologique initial est détaillée au chapitre 2.5.2 du présent volume.

[31] http://agreste.agriculture.gouv.fr

8.2 Évaluation des incidences sur les activités agricoles et du besoin de compensation

L'évaluation des incidences sur les activités et l'approche de leur compensation s'appuie sur l'analyse des incidences développée dans l'étude préalable d'impact sur l'économie agricole, présentée à la « Pièce 17 – Annexes – Documents complémentaires pour la bonne information du public » du dossier de déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo (196), disponible sur le site Internet de l'Andra.

Cette étude a été réalisée en application de l'article L. 112-1-3 et des articles D. 112-1-18 et suivants du code rural et de la pêche. Sont concernés les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation, sont susceptibles d'avoir des conséquences négatives importantes sur l'économie agricole. L'étude préalable agricole comprend au minimum une description du projet, une analyse de l'état initial de l'économie agricole du territoire concerné, l'étude des effets du projet sur celle-ci, les mesures envisagées pour éviter et réduire les effets négatifs notables du projet ainsi que des mesures de compensation collective visant à consolider l'économie agricole du territoire.

Les éléments présentés dans la présente étude d'impact correspondent à une synthèse de cette étude agricole préalable.

Pour établir l'étude préalable agricole, un groupe de travail a été constitué avec les représentants des filières agricoles, des DDT[33] (dép. 52 et 55), des Chambres départementales d'agriculture de Meuse et de Haute-Marne et des experts. Ce groupe s'est réuni à plusieurs reprises de 2017 à 2020. Une expertise technique complémentaire menée par le centre de gestion agricole (Cerfrance Adhéo[34]) permet de définir les données d'entrée à partir d'analyses comptables de groupes d'exploitations de références. L'INAO[35] a également été sollicité pour l'évaluation des enjeux des productions agricoles sous signe d'indentification de qualité et d'origine (AOC[36]-AOP[37] et IGP[38] Fromagère en particulier).

Ces travaux ont été présentés à plusieurs reprises aux élus des chambres d'agriculture, aux exploitants agricoles de la zone concernée, à la DRAAF[39] et aux Services de l'Etat afin de valider chaque étape de cette évaluation, mais également pour préparer les modalités de compensations associées.

Les incidences permanentes du projet global Cigéo sur les activités agricoles sont potentiellement induites par :

- la consommation (perte) de surfaces agricoles, plusieurs centaines d'hectares, principalement liée à la création du centre de stockage, conduisant à :
  - ✓ une diminution de surface agricole exploitable pouvant mettre en cause la pérennité d'exploitations situées dans la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo ;
  - ✓ une baisse du potentiel de développement des exploitations agricoles du fait de l'augmentation de la pression foncière ;
  - ✓ une baisse financière au niveau des exploitations concernées ;
  - ✓ une diminution de la production agricole locale entrainant des effets sur les filières ;
  - ✓ une diminution des terres exploitées pour des productions sous signe d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) à plus haute valeur ajoutée ;
- la coupure de réseaux de drainage de parcelles agricoles ;
- des perturbations de la ressource en eau (quantité, qualité, écoulements), de la qualité de l'air ou des sols impactant la qualité des productions agricoles ;
- la coupure d'itinéraires empruntés par les agriculteurs isolant des parcelles ou allongeant notablement des temps de trajet ;
- la diversification des activités des exploitations pour répondre aux besoins des personnes intervenant sur le projet global Cigéo ;
- le changement des modalités d'exploitation de parcelles permettant la mise en œuvre de mesures compensatoires écologiques des milieux ouverts correspondant à une approche agricole soucieuse de préserver la biodiversité ;
- une évolution de l'image des productions liée à la présence du projet, compte tenu en particulier à la présence de déchets radioactifs.

Le tableau 8-1 ci-dessous illustre les principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des incidences et du besoin de compensation.

Tableau 8-1 Principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des incidences et du besoin de compensation

Incidences potentielles :	Principaux éléments
Perte de surface pour les exploitations	Surface agricole utile impactée par la zone d'intervention potentielle du centre de stockage/nombre d'exploitation/retour d'expérience sur la pérennité des exploitations ayant déjà fait l'objet d'échanges
Prix du foncier	Évolution du prix du foncier
Perte financière au niveau de l'exploitation	Situation économique globale/étude économique : perte de rémunération et revenu
Diminution de la production	Identification des filières affectées/étude technico économique des pertes financières tenant compte des types d'exploitation. (Éléments complémentaires chapitre 8.2.1 du présent volume)
Diminution de terres inclues dans des aires SIQO	Proportion de l'aire affectée/écart de vente du lait
Coupure de réseaux de drainage	Localisation des réseaux existants
Perturbations ressources en eaux, qualité de l'air	Éléments d'évaluation issus des chapitres 5 (Eaux), et 2 (Atmosphère) du présent volume et du volume IV de la présente étude d'impact
Coupure d'itinéraires agricoles	Concertation locale
Diversification	Modification de l'environnement humain
Changement de mode d'exploitation des terres de mesures compensatoires écologiques	Mesures de compensation écologique - étude technico économique des évolutions financières tenant compte de l'évolution des modes de culture. (Éléments complémentaires chapitre 8.2.2 du présent volume)
Image des productions	Très faibles niveaux des émissions

[33] DDT : Directions départementales des territoires.
[34] CERFRANCE Adhéo : Association de gestion et de comptabilité agréée.
[35] INAO : Institut national de l'origine et de la qualité.
[36] AOC : l'Appellation d'origine contrôlée (AOC) est un label permettant d'identifier un produit dont les étapes de fabrication (production et transformation) sont réalisées dans une même zone géographique et selon un savoir-faire reconnu.
[37] AOP : l'Appellation d'origine protégée (AOP) désigne un produit dont toutes les étapes de production sont réalisées selon un savoir-faire reconnu dans une même aire géographique.
[38] IGP : l'Indication géographique protégée (IGP) identifie un produit agricole, brut ou transformé, dont la qualité, la réputation ou d'autres caractéristiques sont liées à son origine géographique.
[39] DRAAF : Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt.

8.2.1 Appréciation du besoin de compensation : diminution des productions liée à la perte de terres agricoles

L'indicateur économique employé est celui de la perte de valeur ajoutée (marge réalisée) induite par l'évolution de la production suite au changement de destination (perte) de surface agricole. La valeur ajoutée est définie comme la différence entre la valeur finale de la production (valorisée par le chiffre d'affaires) et la valeur des biens et moyens nécessaires au processus de production (main d'œuvre, équipement, agrofournitures, conseils et divers).

La perte moyenne globale de richesse ou valeur ajoutée est établie à l'hectare.

Pour établir ces évaluations, l'Andra s'est appuyée sur l'expertise du centre de gestion Cerfrance Adhéo qui a établi une analyse comptable en retenant quatre systèmes d'exploitation (système céréalier, système lait-céréales, système mixte céréales-lait-viande et système viande-céréales) à trois échelles géographiques (sud Meuse, Meuse et Haute-Marne) pour sept campagnes (de 2012 à 2018).et des échanges dans le cadre d'un groupe de travail composé de représentants des Chambres départementales d'agriculture de Meuse, de Haute-Marne, de l'INAO (Institut national de l'origine et de la qualité), de la DRAAF, et des DDT. Ce groupe de travail s'est réuni à plusieurs reprises pour fixer les hypothèses, les données d'entrée et valider chaque étape de cette évaluation.

Les principaux postes comptables considérés sont indiqués dans le tableau 8-2.

Tableau 8-2 Postes comptables retenus

Filières amont		Filières aval	
Charges de production	Engrais amendements	**Production agricole**	Vente productions végétales
	Semence et plants		Vente productions animales
	Produits phytosanitaires		Vente produits transformés
	Aliments du bétail		Vente directe
	Produits et frais vétérinaire		Circuit court
	Frais sur animaux (cotisation, IA…)	**Activités accessoires**	Prestation de service
	Matières premières fournitures		Méthanisation
Charges de structure	Méc. entretien et réparation, petits matériels		Autres diversifications
	Méc. travaux par tiers, Cuma		
	Méc. amortissements économiques		
	Cons. entr. et location		
	Cons. amortissements économiques		
	Banques, assurances, comptabilités, services		
	Cotisations sociales		
	Fermage		
	Location matériel		
	Frais administratifs		

L'évaluation du besoin de compensation induit par le changement de destination des surfaces agricoles correspond au montant moyen des pertes estimées multiplié par le nombre d'hectares de surface agricole qui ne seront plus exploitables à cause du projet global Cigéo.

8.2.2 Appréciation du besoin de compensation : changement des pratiques agricoles pour la mise en œuvre de mesures compensatoires

Le changement des pratiques agricoles sur les surfaces dédiées aux mesures compensatoires environnementales des milieux ouverts, doit favoriser la biodiversité. Ces mesures nécessitent une gestion extensive des systèmes de culture et par là-même une réduction des niveaux de production.

L'évaluation du besoin de compensation prend en compte l'évolution induite sur les charges de mécanisation, en agrofourniture, en main d'œuvre et sur le prix des produits. Elle s'appuie pour l'estimation de la perte pour les filières amont et aval, sur les mêmes hypothèses que pour le changement de destination des terres que ci-dessus. Concernant l'évaluation de l'incidence sur les exploitations, elle intègre les résultats d'une expertise menée dans le cadre d'un réseau expérimental comparatif des systèmes de culture, conduit par les Chambres d'agriculture de Lorraine, qui a évalué la marge nette à l'hectare pour les exploitations des systèmes de culture suivants :

- agriculture conventionnelle avec labour (Labour) ;
- agriculture en techniques culturales simplifiées (TCS) ;
- agriculture de conservation (semis-direct : SD) ;
- agriculture biologique ;
- mise en herbe ;
- jachère.

L'évaluation comprend :

- le coût de mise en œuvre des mesures de compensation écologique ;
- la différence entre la valeur ajoutée à l'hectare avant et après mise en œuvre de ces mesures de compensation écologique en particulier pour les surfaces actuellement exploitées.

Pour les surfaces actuellement en culture, le système de culture conventionnel avec labour, aujourd'hui pratiqué, est pris en référence. Concernant les systèmes prairiaux, le cycle de renouvellement ou d'entretien des prairies retenu est de quatre ans. Pour la mesure de compensation MC-C3 qui intègre une jachère sur une période de cinq ans, suivie d'une prairie temporaire sur trois ans, le cycle de calcul a été établi sur une période de huit ans.

Cette démarche permet d'établir un coût moyen à l'hectare du changement des pratiques agricoles sur les surfaces dédiées à des mesures.

8.2.3 Besoin de compensation pour les productions agricoles sous SIQO

La conséquence financière induite par la perte de surface qui pourrait permettre ces productions, est établie à partir de la différence de prix d'achat du lait conventionnel et celui du lait AOP/IGP, sur la base d'une production laitière moyenne à l'hectare (cf. Figure 8-1).

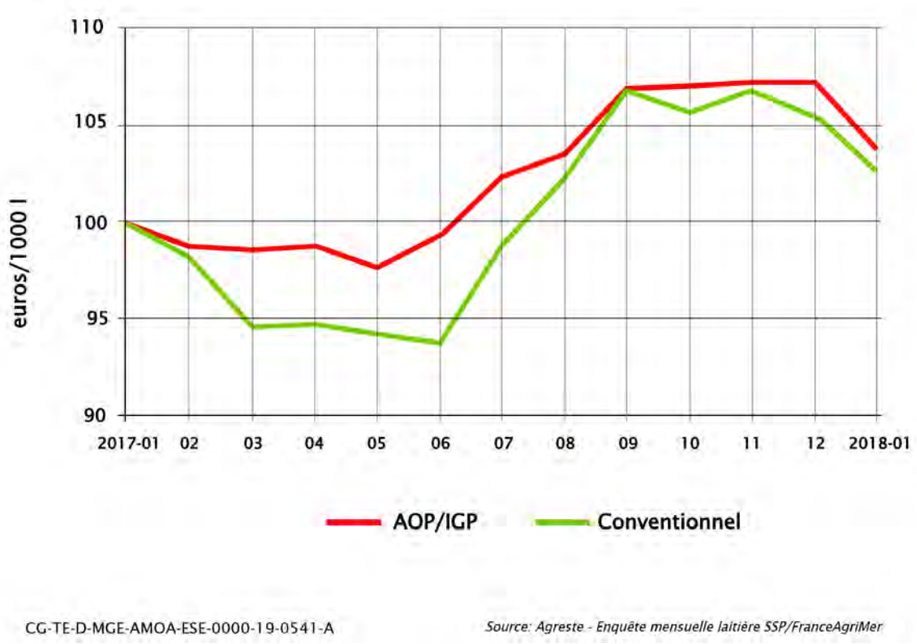


Figure 8-1 Indice du prix du lait AOP/IGP et conventionnel

La perte financière globale correspond à la somme des pertes générées par le changement de destination des surfaces agricole induites par l'implantation du projet et par la mise en place des mesures de compensation et l'incidence du manque à gagner pour les productions sous signe d'identification de qualité et d'origine (SIQO : AOP/IGP).

8.3 Détermination de la compensation collective agricole

Les mesures de compensation collective doivent permettre de consolider l'économie agricole du territoire. Elles ont pour objectif d'apporter une valeur ajoutée collective pour le territoire concerné par les incidences économiques négatives du projet global Cigéo. Plusieurs modalités de compensation collective sont possibles :

- la compensation foncière, à travers la recherche de foncier disponible, notamment par la mise en œuvre de la procédure des terres incultes manifestement sous-exploitées, la réhabilitation de friches ou de l'aménagement foncier (au-delà des obligations légales) ;
- la compensation financière, *via* un fonds de compensation, dédiée à la réalisation de projets destinés à conforter l'économie agricole du territoire concerné.

La solution privilégiée consiste à la mise en place d'un fonds de compensation.

Compte-tenu des enjeux associés à cette compensation et aux délais de mise en œuvre de certains projets, l'évaluation financière finale de la compensation qui repose pour partie sur la perte annuelle de valeur ajoutée développée ci-avant, est envisagée selon deux approches :

- une approche forfaitaire d'un montant égal à la perte. Cette approche est basée sur des ratios d'investissement dans les filières agricoles qui permettent d'établir la rentabilité économique des fonds engagés sur différents projets. Elle présente l'avantage d'établir assez rapidement la compensation financière mais a l'inconvénient de rester très vague sur le programme de mesures et sa mise en œuvre. De fait, la compensation finale peut être sujette à discussion et/ou négociation ;
- une approche ajustée à un programme de développement agricole du territoire : cette deuxième approche nécessite de mener un travail de fond sur la stratégie de développement agricole qui sera accompagnée par ce fond de compensation. Elle présente l'avantage d'engager rapidement les moyens pour limiter l'impact financier sur les filières agricoles. Elle n'a pas vocation à perdurer mais à aider au développement de projets novateurs. Cette aide ne peut en aucun cas se substituer à d'autres mécanismes de financement et elle devra démontrer son efficacité économique. C'est cette approche qui est privilégiée.

Dans le cadre du projet global Cigéo, le calcul du montant du fond de compensation repose sur une approche mixte prenant en compte d'une part les emprises foncières définitives proratisées par la perte financière annuelle et d'autre part l'application d'un coefficient de temporalité afin d'intégrer le délai de développement des projets.

Compte tenu des délais nécessaires au développement de projets économiques agricoles et par retour d'expérience, une période de cinq ans à 10 ans est prise en compte.

Pour estimer le préjudice global sur le tissu économique agricole, les montants de pertes financières, estimés à l'hectare pour les différentes incidences, sont multipliés par les surfaces agricoles concernées.

Afin de favoriser la dynamique de territoire, l'Andra a sollicité les Chambres d'agriculture et les opérateurs économiques locaux pour définir les projets qu'il conviendrait de développer dans le cadre de cette compensation collective agricole. Un comité de pilotage, qui pourrait comprendre des représentants de la profession agricole, d'organismes consulaires, d'organismes économiques, des services de l'État, de collectivités, d'associations du territoire et de l'Andra, serait associé à la démarche de sélection des projets puis à leur suivi et à leur financement. Le financement provenant de la compensation serait versé en fonction de l'avancement des projets tout en respectant les règles d'attribution des aides publiques agricoles.

Pour préparer et procéder à la mise en œuvre de la compensation collective agricole du projet global Cigéo, quatre phases sont définies :

- mobilisation des acteurs agricoles locaux pour identifier les projets à développer ;
- installation d'un comité de pilotage (COPIL) et définition de ses missions ;
- conduite des appels à projets ;
- suivi des projets.

Des critères d'éligibilité des projets seront précisés par le comité de pilotage. Ils permettront de garantir le processus de définition du programme de compensation pour la sélection de projets respectueux de l'environnement et d'apprécier le besoin d'accompagnement financier, pour chacun en fonction des retombées économiques attendues. Une base de réflexion pour l'établissement de ces critères est présentée dans le tableau-ci-dessous.

Tableau 8-3 Base de réflexion pour l'établissement de critères d'éligibilité des projets collectifs de compensation économique agricole (projet global Cigéo)

Critères	Définition et exigences
Régimes d'aides publiques	Le financement du projet doit s'inscrire parmi l'un des 11 régimes notifiés
Opportunité	Le projet ne doit pas : • entrer en concurrence avec une activité similaire déjà existante ; • venir en concurrence sur l'utilisation de la ressource de productions agricoles par d'autres filières. Le projet doit favoriser **les projets innovants**
Collectif	Le projet doit démontrer qu'il pourra fédérer plusieurs acteurs économiques de divers maillons de la filière (préciser les acteurs économiques, hors financeurs) : • soit par la création d'une nouvelle filière (producteur/transformateur/Industriel) pouvant impliquer une organisation interprofessionnelle locale existante ou en devenir ; • soit par le développement d'une filière existante pouvant impliquer une organisation interprofessionnelle locale existante ou en devenir. (exemple pour les GIEE : Le projet devra notamment démontrer en quoi l'organisation et le fonctionnement collectif des actions constituera une plus-value par rapport à la somme des actions qui seraient réalisées individuellement par chacun des agriculteurs.)
Proximité	Le projet doit conforter ou renforcer une activité économique et générer des retombées économiques pérennes sur le périmètre retenu par l'étude préalable du projet global Cigéo soit : • par l'installation d'un outil industriel permettant la valorisation des ressources agricoles et/ou naturelles du territoire ; • par la diversification des activités agricoles au sein du territoire.
Calendrier	La proposition de projet doit : • commencer à générer une valeur ajoutée dans un délai de moins de cinq ans à compter de sa date de validation ; • démontrer qu'il atteindra son niveau optimum d'activité avant 10 ans (étude économique). L'éligibilité du projet et le montant de l'enveloppe d'aides attribuables sera soumise à la présentation de toutes les pièces nécessaires prouvant la faisabilité techniques et financières (et donc la capacité d'investissements) dans un délai de 24 mois ou 36 mois.
Emplois	Le projet doit : • être source de nouveaux emplois sur le territoire sans fragiliser la pérennité des emplois existants ; • permettre la préservation et la pérennisation des emplois existants.
Pérennité	La nature du projet doit garantir sa pérennité décennale par : • une étude de marché et de faisabilité économique établie sur 10 ans ; • la contractualisation d'engagement des partenaires sur un durée minimale de 10 ans (exemples : contrat approvisionnement, contrat valorisation).
Financement	Principe de financement : • le porteur de projet devra démontrer que son projet ne peut exister qu'avec une ressource publique financière supplémentaire et seulement après avoir mobilisé toutes les aides publiques auxquelles le projet est éligible ; • la part de financement du fonds de compensation ne pourra excéder le plafond des aides publiques cumulées fixé par le régime notifié dont relève le projet (20 % à 40 % selon le statut du porteur de projet et la nature des investissements) ; • la part de financement du fonds de compensation est plafonnée à 1,5 millions d'euros par projet.
Retombées économiques	Le porteur de projet devra démontrer et chiffrer la plus-value attendue sur le territoire et pour les filières agricoles par : • la création/pérennisation d'emplois ; • la valeur ajoutée apportée aux produits agricoles du territoire ; • la valorisation de nouvelles productions agricoles ; • le chiffre d'affaires nouvellement généré ; • la rentabilité de son investissement : TRI[40] ou RSI[41].
Contraintes réglementaires	Le projet devra démontrer qu'il est : • réglementairement réalisable ; • économe en espaces agricoles et naturels ; • économe en consommation de ressources (eau potable, énergie) ; • en accord avec les réglementations agricoles en vigueur Egalim[42]

[40] TRI : Le taux de rentabilité interne (TRI) d'un investissement, qu'il soit financier ou industriel, est l'élément qui permet d'en mesurer la performance.

[41] RSI : Le retour sur investissement, c'est un indicateur de rentabilité du capital investi, taux de rendement, rendement, ou encore taux de profit.

[42] Egalim : loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous (197).

8.4 Évaluation des incidences sur les activités sylvicoles et du besoin de compensation

Les incidences du projet global Cigéo sur l'activité sylvicole sont potentiellement induites par :

- la perte de surfaces sylvicoles liée au défrichement pour la création de la zone puits, conduisant à :
  - ✓ une diminution de surface forestière exploitable ;
  - ✓ une diminution de la production sylvicole locale entrainant des effets sur l'ensemble de la filière sylvicole ;
- la coupure d'itinéraires empruntés par les exploitants de parcelles boisées, isolant des parcelles ou allongeant notablement les temps de trajet ;
- le changement des modalités d'exploitation de parcelles sylvicoles permettant la mise en œuvre de mesures compensatoires écologiques en milieux boisés.

Le tableau ci-dessous illustre les principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des incidences et du besoin de compensation.

Tableau 8-4 Principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des incidences et du besoin de compensation

Incidences potentielles	Principaux éléments
Diminution de surface forestière exploitable	Surface objet des premiers défrichements la zone d'intervention potentielle du centre de stockage
Diminution de la production sylvicole locale entrainant des effets sur l'ensemble de la filière sylvicole	Surface objet des premiers défrichements la zone d'intervention potentielle du centre de stockage/peuplements/volumes valorisation par filière (cf. *Nota* ci-dessous)
Perturbation des itinéraires ruraux	Concertation locale
Changement de mode d'exploitation des terres de mesures compensatoires écologiques	Mesures de compensation écologique – Évolution des activités induites par ces mesures

Nota : pour évaluer les volumes de bois générés lors de la première phase de défrichement, des estimations de la hauteur des arbres ont été réalisées en 2015 à partir de données de terrain et notamment :

- une cartographie des peuplements ;
- la mesure de la hauteur de la canopée par relevés Lidar ;
- la mesure de la surface terrière pour chaque peuplement.

Ce travail a permis, à l'aide d'abaques, d'établir une cartographie croisant les hauteurs d'arbres avec les types de peuplements et d'avoir une première approche du volume de bois sur pieds exploitable par la filière sylvicole locale.

8.5 Détermination de la compensation forestière

Compte tenu de la surface défrichée et conformément aux dispositions réglementaires du Code forestier (article L. 341), une compensation forestière sera mise en œuvre.

Le code forestier propose trois modes de compensation.

» LES TROIS MODES DE COMPENSATION FORESTIÈRE PROPOSÉS PAR LA RÉGLEMENTATION

- exécution, sur des terrains proposés à titre de compensation, de travaux de boisement ou reboisement pour une surface correspondant à la surface défrichée, assortie d'un coefficient multiplicateur compris entre 1 et 5, déterminé en fonction du rôle économique, écologique et social des bois ; et forêts objets du défrichement et décidé par la Direction départementale des territoires (DDT) ;
- réalisation de travaux d'amélioration sylvicole d'un montant équivalent défini par la Direction départementale des territoires (DDT) ;
- paiement d'une soulte : versement d'une indemnité au Fonds stratégique de la forêt et du bois (FSFB).

Plusieurs réunions de présentation et d'échanges ont réuni les directions départementales des territoires (Haute-Marne et Meuse) et les acteurs locaux de la filière bois.

Afin de compenser le défrichement, le coefficient multiplicateur retenu par la Direction département du territoire de la Meuse, département concerné par la surface défrichée, est de deux.

L'enveloppe financière pour la compensation de la première phase de défrichement est estimée à 2,3 millions d'euros. Le montant sera précisé par la Direction départementale du territoire de la Meuse lors de l'instruction de la demande de défrichement.

L'Andra souhaite privilégier, pour la compensation forestière, le mode de compensation par reboisement. Elle a lancé dès la fin de l'année 2017, un appel à candidature ouvert aux propriétaires forestiers privés et publics de Meuse et Haute-Marne sur la base d'un cahier de charges établi en collaboration avec la Caisse des dépôts et les Directions départementales des territoires de ces deux départements, définissant les critères d'éligibilité. La démarche de sélection des projets est présentée dans le chapitre 8.2.5 du volume IV de la présente étude d'impact).

9

Réseaux - Méthodes

9.1 État initial des réseaux 222
9.2 Évaluation des incidences sur les réseaux 222

9.1 État initial des réseaux

Les réseaux (gaz, électricité, eau, téléphonie, etc.) ont été étudiés dans l'aire d'étude rapprochée à partir des sources de données suivantes :

- documents d'urbanisme pour la liste et l'emplacement des servitudes d'utilité publique ;
- sites internet[43] ;
- administrations.

Les informations relatives aux réseaux de gaz et électriques à l'état initial sont issues de RTE et de GRT gaz (198, 199). Une cartographie a été réalisée afin de localiser ces réseaux.

9.2 Évaluation des incidences sur les réseaux

L'analyse des incidences du projet global Cigéo porte sur les réseaux interceptés lors des travaux et sur la création des réseaux nécessaires au projet.

Les réseaux majeurs (réseaux structurants de distribution d'électricité, de gaz, d'hydrocarbure ou d'eau et collecteurs principaux d'assainissement), interceptés par le projet global Cigéo ont été identifiés par superposition cartographique des installations du projet global Cigéo avec les réseaux existants connus au stade de la rédaction de l'étude. La connaissance des réseaux interceptés par le projet global Cigéo sera affinée au fur et à mesure de l'avancement des études des différents maîtres d'ouvrage et des prises de contact avec les gestionnaires.

L'analyse des incidences du projet global Cigéo sur les réseaux interceptés est effectuée au regard du type de réseau et des prescriptions associées, notamment celles prévues dans les servitudes pour les réseaux concernés (gaz, électricité…).

Concernant les réseaux créés, l'analyse porte sur les bénéfices apportés au territoire, notamment au regard des insuffisances des réseaux existants.

[43] https://www.geoportail.gouv.fr/ et Accueil - Particulier | Géorisques - Ministère de la transition écologique (georisques.gouv.fr)

10

Déchets radioactifs et conventionnels – Méthodes

10.1 Déchets radioactifs 224
10.2 Déchets conventionnels 224

10.1 Déchets radioactifs

10.1.1 État initial

Le volume II présente de manière détaillée les déchets radioactifs reçus sur le centre de stockage Cigéo et leur gestion.

Les déchets radioactifs sont étudiés à l'état initial dans les aires d'étude immédiate (permettant de vérifier l'absence de site de gestion des déchets dans la zone d'intervention potentielle), éloignée correspondant à l'échelle de la région Grand Est toute entière (intégrant le centre de stockage de l'Aube (CSA) et le centre de regroupement d'entreposage et de stockage (Cires)) et étendue aux parties nord et est de la France (intégrant les sites actuels d'entreposage des déchets radioactifs HA et MA-VL chez les producteurs et les opérations d'expédition et de transport des déchets depuis ces sites). Ces aires d'étude sont présentées plus en détail dans le chapitre 1.2 du présent volume.

La gestion des matières et des déchets radioactifs est encadrée par le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR). Le PNGMDR 2022-2026 fait l'objet du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (200) et de l'arrêté du 9 décembre 2022 pris en application du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (201).

10.1.2 Incidences et mesures

L'analyse a consisté dans un premier temps à identifier les différents types de déchets induits par le fonctionnement du centre de stockage Cigéo. Puis les quantités de déchets sont estimées sur la base des caractéristiques du projet et de ratios issus du retour d'expérience. Ces estimations sont préliminaires. Elles seront revues au fur à mesure de l'avancement du projet et notamment à l'issu de la réalisation de l'étude sur la gestion des déchets prévue par la décision n° 2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 (202), relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base, et les articles 6.1 à 6.8 de l'arrêté du 7 février 2012 (203).

10.2 Déchets conventionnels

10.2.1 État initial

La gestion des déchets conventionnels est présentée au niveau de l'aire d'étude immédiate (permettant de vérifier l'absence de site de gestion des déchets dans la zone d'intervention potentielle) et de l'aire d'étude éloignée à l'échelle de la région Grand Est tout entière (les déchets sont traités majoritairement à l'échelle régionale). Ces aires d'étude sont présentées plus en détail dans le chapitre 1.2 du présent volume.

Le contexte national est également présenté.

Le Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), approuvé le 24 janvier 2020, permet, *via* son annexe n° 7 le plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD), approuvé le 22 novembre 2019, de dresser un état des lieux, pour la région Grand Est en 2015 (204) :

- de la répartition des différents types de déchets ;
- des installations de gestion de ces déchets (stockage, traitement et valorisation) leur gestion en France la répartition des déchets.

10.2.2 Incidences et mesures

Concernant les déchets produits par le centre de stockage Cigéo, l'analyse a consisté dans un premier temps à identifier les différents types de déchets générés au cours de chacune des phases de vie du projet. Les déchets conventionnels induits sont classés selon la liste de codification des déchets de l'annexe II de l'article R. 541-8 du code de l'environnement et sont regroupés en trois groupes principaux : les déchets inertes (DI), les déchets non dangereux ou déchets d'activité économique (DND ou DAE), qui comprennent les déchets organiques ou « biodéchets » et enfin les déchets dangereux (DD).

Puis les quantités de déchets sont estimées sur la base de ratios fournis par l'ADEME ou issus du retour d'expérience et sur la base d'hypothèses. Ces estimations sont préliminaires. Elles seront revues au fur à mesure de l'avancement du projet et de la passation des marchés.

Pour évaluer les volumes de bois générés lors de la première phase de défrichement, des estimations de la hauteur des arbres ont été réalisées en 2015 à partir de mesures Lidar embarqué. Ce travail a permis d'en établir une cartographie croisant les hauteurs d'arbres avec les types de peuplements et d'estimer le volume de bois.

Les ratios utilisés pour la construction sont basés essentiellement sur le retour d'expérience acquis sur des types et méthodes de construction approchant. En particulier, les estimations des volumes de déchets inertes associés à la réalisation des ouvrages souterrains s'appuient sur le retour d'expérience de construction de tunnel. Ces estimations sont préliminaires. Elles seront revues en fonction des solutions techniques retenues dans le cadre de la passation des marchés.

Les ratios utilisés pour estimer la production de déchets de bâtiments industriels sont présentés respectivement dans le tableau 10-1 et le tableau 10-2.

10.2.2.1 Ratios relatifs aux déchets d'exploitation des bâtiments industriels

Les ratios de déchets d'exploitation des bâtiments industriels comprennent les déchets liés à l'exploitation courante des installations, ainsi que les déchets issus de la maintenance de ces installations.

Tableau 10-1 Ratios utilisés pour les estimations des déchets des bâtiments industriels

Déchets ouvrages industriels	Ratio (t/an/salarié)	Source
DI - Inertes	0,5	Estimation à partir de données INSEE 2008/2009
DND - Verre	0,03	Estimation à partir données ADEME 2004
DND - Métaux	0,61	
DND - Plastiques	0,12	
DND - Caoutchouc	0,01	
DND - Textiles	0,03	
DND - Papier-cartons	0,61	
DND - Bois	1,02	
DND - Mélange	0,97	
Déchets Dangereux	0,3	

10.2.2.2 Ratios relatifs aux déchets conventionnels d'exploitation des bâtiments nucléaires

Les ratios de déchets d'exploitation d'installation nucléaire de base comprennent les déchets liés à l'exploitation courante des installations nucléaires ainsi que les déchets issus de la maintenance de ces installations.

Tableau 10-2 Ratios utilisés pour les estimations des déchets des ouvrages nucléaires

Déchets ouvrages nucléaires	Ratio (kg/m²)	Source
DND - Papiers/cartons	0,07	Retour d'expérience
DND - Plastiques	0,03	Retour d'expérience
DND - Métaux	0,02	Retour d'expérience
DND - Textiles/chiffons	0,02	Retour d'expérience
DND - Filtres	0,05	Retour d'expérience
DD – Solvants, huiles, graisses	0,02	Retour d'expérience
Déchets nucléaires		Retour d'expérience sur le contrôle des colis, les fréquences de remplacement des filtres et les besoins de maintenance

10.2.2.3 Ratios relatifs aux biodéchets

Les ratios utilisés pour estimer la production de biodéchets sont présentés dans le tableau 10-3.

Tableau 10-3 Biodéchets

Biodéchets	Ratio	Unité	Source
Déchets de restauration	134	g/repas/personne	Étude estimative de la production de biodéchets au sein des établissements de restauration - GNR – 10 novembre 2011 (205)
Entretien des espaces verts	6	t/ha/an	La production des déchets végétaux des espaces verts publics (Cemagref, 1995 (206)) : 43 $m^3.ha^{-1}.an^{-1}$ – densité 1,4 $t.m^{-3}$

Dans un second temps l'analyse rappelle les principes de gestion de ces déchets sur site : réduction et tri à la source, collecte, entreposage sur site et préparation avant envoi vers l'extérieur et traçabilité.

Des filières de traitement adaptées sont *in fine* envisagées pour chaque catégorie de déchets.

11

Risques et vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs - Méthodes

11.1 État initial : identification et présentation des risques externes 228
11.2 Incidences 228

11.1 État initial : identification et présentation des risques externes

Les risques majeurs prévisibles d'origine naturelle et anthropique retenus ont été identifiés suite à l'analyse des dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse (2019) et de la Haute-Marne (2017) (9, 10).

11.1.1 Recensement des risques d'origine naturelle

Les méthodologies de recensement des risques naturels sont explicitées dans chaque chapitre thématique correspondant du présent volume de l'étude d'impact.

11.1.2 Recensement des risques d'origine anthropique

11.1.2.1 Risque nucléaire

La pertinence de retenir le risque nucléaire comme risque externe a été évaluée à partir des données du site Internet de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) (207).

11.1.2.2 Risque industriel

Les installations à l'origine de risques industriels susceptibles de représenter des risques externes pour les installations du projet global Cigéo ont été mises en évidence au travers :

- du recensement des plans de prévention des risques technologiques (PPRT) ;
- plus largement du recensement des installations classées pour l'environnement (ICPE), externes au projet global Cigéo, au sein des périmètres suivants :
  - ✓ les ICPE à autorisation Seveso les plus proches du projet global Cigéo ;
  - ✓ dans l'aire d'étude rapprochée pour les ICPE à autorisation et enregistrement ;
  - ✓ dans l'aire d'étude immédiate pour les ICPE à déclaration, la liste des ICPE soumises à déclaration est conforme aux informations fournies par les préfectures contactées au regard des déclarations et cessations d'activité réalisées par les exploitants.

Les sites non classés au titre des ICPE ne sont pas retenus et présentés.

Les données indiquées proviennent du site Internet Géorisques[44] ainsi que des données issues de la DREAL Grand Est (208). Les données des ICPE soumises à déclaration ont été transmises par les préfectures de la Meuse et de la Haute-Marne.

En fonction de leur localisation, les installations recensées constituent par ailleurs des intérêts à protéger en cas d'accident dont le projet global Cigéo serait à l'origine.

11.1.2.3 Risque lié au transport de matières dangereuses

Le recensement des risques liés aux transports de matières dangereuses est réalisé à partir du site (209)[45].

11.1.2.4 Risque de rupture de barrage

La pertinence de retenir le risque de rupture de barrage comme risque externe a été évalué à partir des données disponibles dans les dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse (2019) et de la Haute-Marne (2017) et notamment des classes des barrages recensés dans l'aire d'étude rapprochée.

11.1.2.5 Risque lié à la découverte d'engins de guerre

La pertinence de retenir le risque lié à la découverte d'engins de guerre a été évalué à partir des dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse (2019) (10) et de la Haute-Marne (2017) (9).

11.1.2.6 Risque aérien

Le recensement des risques aériens s'est fait au travers de la localisation des aérodromes, des bases aériennes et des aéroports (cf. Chapitre 12 du volume III de la présente étude d'impact)[46].

11.2 Incidences

Le présent chapitre de l'étude d'impact a pour objet :

- d'une part, d'analyser la vulnérabilité du projet global Cigéo à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs tel qu'exigé par l'alinéa 6° du II de l'article R. 122-5 du code de l'environnement ;
- d'autre part, de présenter les incidences négatives notables que le projet global Cigéo est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant de risques intrinsèques ou d'accidents et de catastrophes majeurs, tel qu'exigé par l'alinéa 5°d du II de l'article R. 122-5 du code de l'environnement.

» LA NOTION DE « RISQUES MAJEURS »

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

Le risque majeur y est décrit comme la possibilité d'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets sont susceptibles de mettre en jeu un grand nombre de personnes, d'occasionner des dommages importants et de dépasser les capacités de réaction de la société.

L'existence d'un risque majeur est liée :

- d'une part à la présence d'un aléa, qui est la manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique ;
- d'autre part à l'existence d'enjeux, qui représentent l'ensemble des personnes et des biens (ayant une valeur monétaire ou non monétaire) pouvant être affectés par un phénomène.

Les conséquences d'un risque majeur sur les enjeux se mesurent en terme de vulnérabilité.

Un risque majeur est caractérisé par sa faible fréquence et par son énorme gravité.

[44] https://www.georisques.gouv.fr/ .
[45] https://www.gouvernement.fr/risques/transport-de-matieres-dangereuses.

[46] https://france3-regions.francetvinfo.fr/grand-est/2014/05/13/lorraine-la-carte-des-crashes-d-aeronefs-476343.html

11.2.1 Vulnérabilité aux risques d'accidents et de catastrophes majeurs

La vulnérabilité est analysée au regard des risques externes au projet global Cigéo qui pourraient constituer des agressions externes menant à des situations accidentelles. Ces risques sont listés dans les dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse (2019) et de la Haute-Marne (2017) (9, 10).

Il s'agit :

- des risques d'accidents et catastrophes majeurs d'origine naturelle de type inondation, mouvement de terrain (y compris minier), séisme, évènements climatiques (tempête, canicule/grand froid) ;
- les risques d'accidents et de catastrophes majeurs d'origine anthropique de type industriel, nucléaire, barrage, transport de matières dangereuses et engins de guerre.

La vulnérabilité à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs est prise en compte lors de la phase de conception initiale, par la mise en œuvre de dispositions de conception pour maitriser ces risques.

11.2.2 Incidences des risques induits par le projet global Cigéo

Deux familles de risques induits par le projet global Cigéo sont mises en évidence :

- les risques dits nucléaires, liés à la présence d'éléments radioactifs ;
- les risques dits conventionnels.

Sont présentés successivement, les risques induits par l'INB Cigéo sur la base de l'étude de maitrise des risques, les autres risques du projet global Cigéo et les incidences sur les risques naturels existants.

11.2.2.1 Risques induits par l'INB Cigéo

La méthodologie de l'analyse de la maîtrise des risques de l'INB Cigéo est présentée en détail dans l'étude de maîtrise des risques et synthétisée dans le présent chapitre.

Comme tout exploitant d'installation nucléaire de base (INB), l'Andra s'assure, dès la conception, que les dispositions techniques et organisationnelles mises en œuvre dans ses installations permettent la protection des intérêts, c'est-à-dire la protection de la sécurité, la santé et la salubrité publique ainsi que la protection de la nature et de l'environnement.

Ces dispositions visent à prévenir les accidents et à en limiter les conséquences pour toutes les situations envisagées (normales et dégradées, incidentelles et accidentelles).

Les principes, la méthodologie et les règles d'études qui sont présentés s'appuient principalement sur :

- la réglementation applicable à toute INB issue de dispositions législatives codifiées, de décrets, d'arrêtés ministériels et de décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) ;
- les règles fondamentales de sûreté (RFS) et des guides relatifs aux INB : pour certains dont la mention précise qu'ils sont « *applicables aux Installations nucléaires de base autres que les réacteurs, à l'exception des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs » ; ils ont* fait l'objet d'une analyse de leur transposition à l'INB Cigéo.

L'analyse de sûreté est réalisée selon une démarche déterministe et repose sur une analyse de risques et une analyse par situations de fonctionnement.

L'objectif est d'identifier les différentes situations auxquelles l'installation peut être confrontée, de les regrouper selon leur vraisemblance, et de vérifier que les moyens techniques et organisationnels qui en garantissent la maîtrise sont correctement dimensionnés. Ces situations couvrent le fonctionnement normal et le fonctionnement dégradé, les situations incidentelles et accidentelles de dimensionnement ainsi que des situations accidentelles plus complexes (situations d'extension du dimensionnement) pouvant être la résultante de plusieurs événements cumulés ou d'évènements climatiques extrêmes (notamment issus du retour d'expérience de l'accident de Fukushima).

Des analyses probabilistes complémentaires peuvent être réalisées notamment sur l'évaluation d'agressions externes, conformément aux règles fondamentales de sûreté de l'ASN (chute d'aéronef, environnement industriel et voies de communication).

Comme pour toute INB, afin de juger du caractère suffisant des mesures prises pour gérer les situations, les évaluations de conséquences sont confrontées aux objectifs de protection définis par l'Andra et présentés au chapitre 8.5.1.1 du volume VI de la présente étude d'impact.

L'évaluation de l'impact sur la santé humaine des situations accidentelles est présentée dans le chapitre 6 du volume VI de la présente étude d'impact.

11.2.2.2 Autres risques induits par le projet global Cigéo

Les incidences des autres risques induits par le projet global Cigéo sont traités par type d'installation ou d'activité :

- transport des colis jusqu'à l'INB Cigéo ;
- transport, réception et distribution de carburant ;
- les chaufferies ;
- substances dangereuses non radioactives en petits contenants ;
- installations/locaux électriques ;
- explosifs éventuellement mis en œuvre pendant les terrassements.

L'évaluation de l'impact sur la santé humaine des situations accidentelles est présentée dans le chapitre 6 du volume VI de la présente étude d'impact.

11.2.2.2.1 Transport des colis jusqu'à l'INB Cigéo

L'analyse des risques liés au transport des colis jusqu'à l'INB Cigéo est réalisée sur la base du respect de la réglementation internationale rendue applicable en France notamment par l'arrêté ministériel du 29 mai 2009 dit « TMD » (35) et de :

- la robustesse des emballages. Leur conception permet d'assurer une bonne résistance aux conditions de routine, d'incident et d'accident ;
- la vitesse limitée de circulation des convois de transport ;
- la fiabilité des opérations de transport. Celle-ci vise à réduire l'occurrence des anomalies, des incidents et des accidents ;
- la mise en place d'un dispositif de gestion de crise dans le cas où un incident ou un accident de transport de colis de déchets radioactifs surviendrait.

11.2.2.2.2 Transport, réception et distribution de carburant et risques liés aux chaufferies

L'accident redouté pour le transport, réception et distribution de matières inflammables (carburant et GPL) est une fuite sur le camion de livraison. En présence d'une source d'ignition, cette fuite pourrait être à l'origine d'un incendie (effets thermiques) ou d'une explosion (effets de surpression).

À l'intérieur de la chaufferie, une fuite sur une tuyauterie de GPL ou une défaillance sur le dispositif d'alimentation en GPL d'une chaudière peut conduire à la dispersion de gaz inflammable dans le local. En présence d'une source d'ignition, cette fuite peut être à l'origine d'un incendie ou d'une explosion dans le local.

Les plaquettes de bois sont des combustibles qui, en cas d'incendie, sont susceptibles de s'enflammer et ainsi apporter une masse combustible.

11.2.2.2.3 Substances dangereuses non radioactives en petits contenants, installations/locaux électriques et explosifs éventuellement mis en œuvre pour le terrassement

L'analyse des incidences est réalisée sur la base des bonnes pratiques et du retour d'expérience.

11.2.2.3 Incidences sur les risques naturels existants

En lien avec les éléments figurant dans le chapitre 11.3 du volume III de la présente étude d'impact, l'analyse de des incidences du projet global Cigéo sur les risques naturels concerne les risques inondation, mouvement de terrain et climatiques.

L'analyse des incidences sur les risques naturels existants est réalisée au regard des dispositions de conception mises en œuvre pour éviter et réduire l'aggravation des risques existants.

12

Infrastructures de transport - Méthodes

12.1 Cadrage réglementaire des infrastructures de transport du projet global Cigéo 232
12.2 Recensement des infrastructures de transport 232
12.3 Méthodologie d'évaluation du trafic à l'état initial, des évolutions du trafic, des conditions de circulations et des méthodes de calcul 232
12.4 Méthodologie utilisée pour le rétablissement des voiries interceptées 243
12.5 Méthodologie utilisée dans le calcul des consommations énergétiques 243
12.6 Méthodologie pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité 245

12.1 Cadrage réglementaire des infrastructures de transport du projet global Cigéo

Le projet global Cigéo comprend la réalisation d'infrastructures de transport :

- des infrastructures de transport ferroviaires :
  - ✓ la ligne ferroviaire 027000, décrite au chapitre 2.7.3 du volume II de la présente étude d'impact ;
  - ✓ l'installation terminale embranchée, incluant la plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château, ainsi que les terminaux fret ferroviaire et fret nucléaire sur la zone descenderie, décrits au chapitre 4.3.7 du volume II de la présente étude d'impact ;
- des infrastructures routières :
  - ✓ la liaison intersites, décrite au chapitre 4.3.6 du volume II de la présente étude d'impact ;
  - ✓ la déviation de la route départementale D60/960, décrite au chapitre 2.7.4 du volume II de la présente étude d'impact ;
- des rétablissements routiers des voies interrompues par ces infrastructures de transport.

Conformément à l'article R. 122-5 du code de l'environnement, pour ces infrastructures, l'étude d'impact comprend donc :

- une analyse des conséquences prévisibles du projet sur le développement éventuel de l'urbanisation ;
- une analyse des enjeux écologiques et des risques potentiels liés aux aménagements fonciers, agricoles et forestiers portant notamment sur la consommation des espaces agricoles, naturels ou forestiers induits par le projet, en fonction de l'ampleur des travaux prévisibles et de la sensibilité des milieux concernés ;
- une analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité ;
- une évaluation des consommations énergétiques résultant de l'exploitation du projet, notamment du fait des déplacements qu'elle entraîne ou permet d'éviter ;
- une description des hypothèses de trafic, des conditions de circulation et des méthodes de calcul utilisées pour les évaluer et en étudier les conséquences ;
- les mesures de protection contre les nuisances sonores qui seront mises en œuvre.

12.2 Recensement des infrastructures de transport

Les données relatives aux différentes infrastructures (air, fer, route, etc.) ont été collectées auprès des différents gestionnaires de ces infrastructures (ex : SNCF Réseau pour le ferroviaire).

Le réseau routier présenté est issu de la base BD Carto 2018 de l'IGN. Le réseau ferroviaire est issu de l'Atlas du Réseau Ferré en France, sur la situation au 1er avril 2020, de la SNCF (196).

Les données relatives au réseau fluvial sont issues du site de Voies navigables de France (VNF) nord-est[47].

La liste des aéroports est issue de la BD Carto de l'IGN.

Un recensement exhaustif des voiries interceptées par le centre de stockage Cigéo a été réalisé par consultation de la carte topographique de l'IGN, des visites de site et une concertation menée avec les acteurs locaux.

La méthodologie concernant l'estimation du trafic actuel est présentée au chapitre 12.2 du présent volume.

[47] https://www.vnf.fr/vnf/regions/vnf-nord-est/

12.3 Méthodologie d'évaluation du trafic à l'état initial, des évolutions du trafic, des conditions de circulations et des méthodes de calcul

12.3.1 Trafic ferroviaire

SNCF Réseau publie chaque année un atlas du réseau ferré, présentant notamment le trafic moyen journalier annuel (TMJA) des lignes ferroviaires de France, ainsi que la part de fret et de voyageurs régionaux. Les données de trafic ferroviaire sont issues de cet atlas.

Les hypothèses de trafic ferroviaire sur l'ITE et la ligne 027000 ont été estimées par l'Andra sur la base des quantités de matériaux et de déchets radioactifs et des caractéristiques des convois ferroviaires.

12.3.2 Trafic routier pour le centre de stockage Cigéo

12.3.2.1 Caractérisation de l'état initial : comptages routiers

L'état du trafic a été étudié grâce aux données de comptages récoltées, notamment entre 2014 et 2020 auprès des cinq gestionnaires présents sur l'aire d'étude rapprochée, à savoir la DIR Est, le CD 52, le CD 54, le CD 55 et le CD 88. Ils sont également complétés par des enquêtes de comptage réalisées par le prestataire de comptage de l'Andra, la société Alyce.

Afin de caractériser les niveaux de trafic actuels au sein de l'aire d'étude rapprochée, de nouveaux comptages ont été réalisées en 2020, par la société Alyce. Les opérations suivantes, recouvrant l'ensemble de la zone à étudier, ont ainsi été réalisées :

- 86 points de comptages automatiques sur des routes bidirectionnelles à une voie par sens de circulation ;
- six points de comptage automatique sur une section routière à chaussées séparées à deux voies par sens de circulation, ainsi que sur les routes bidirectionnelles sans chaussées séparées avec au moins un sens de circulation avec plus d'une voie (2 + 1, 2 + 2). Ce type de comptage est intitulé de manière simplifiée 2 x 2 voies.

Pour un comptage automatique, le nombre de compteurs et le type de capteurs à mettre en place (tube, radar, caméra) dépendent du type de voirie (sens unique, double sens, nombre de voies) et du niveau de trafic à compter :

- comptages par tubes pour les points situés sur des 2 x 1 voies. Ce type de compteurs enregistre chaque essieu qui passe sur les capteurs (les tubes). Les impacts horodatés de chaque essieu sont interprétés après le comptage pour fournir une image claire du trafic : sens du véhicule, vitesse et catégorie du véhicule ;
- comptages par caméras pour les points situés sur des 2 x 2 voies. Le système est fixé de préférence à un poteau de feu tricolore ou à un poteau d'éclairage public. S'il n'y a pas de poteau répondant aux conditions nécessaires pour une bonne installation, le mat est fixé sur un trépied. Ce type de comptage permet de calculer le débit, mais pas la vitesse des véhicules.

Ensuite, un logiciel, s'appuyant sur la technologie du « *Deep Learning* », permet de traiter automatiquement les vidéos des différents types de comptages. Afin de s'assurer du bon comptage du logiciel, un comptage manuel de vérification est effectué sur quelques heures de jour et de nuit.

Le recueil de données a été effectué du 7 au 20 septembre 2020, dans les conditions suivantes :

Tableau 12-1 Recueil des données de comptages réalisés en 2020 par Alyce

Actions	Dates	Conditions météorologiques
Pose des compteurs	4, 5 et 6 septembre 2020	Temps globalement ensoleillé les 4 et 5, couvert le 6
1re visite de contrôle	8 et 9 septembre 2020	Temps globalement ensoleillé
2e visite de contrôle	11 et 12 septembre 2020	Temps globalement ensoleillé
3e visite de contrôle	14 et 15 septembre 2020	Temps globalement ensoleillé
4e visite de contrôle	17 et 18 septembre 2020	Temps globalement ensoleillé (quelques averses le 17)
Dépose des compteurs	21 et 22 septembre 2020	Temps globalement ensoleillé

12.3.2.2 Évaluation des incidences : modélisation

Sur la période 2018-2019, une première évaluation des incidences du centre de stockage Cigéo a été réalisée par modélisation par le Cerema (210). La modélisation réalisée est couplée à un diagnostic des aménagements existants sur le territoire en matière de traversée d'agglomération, afin de vérifier en situation actuelle, mais également en fonction des trafics futurs, si les aménagements existants sont suffisants et pertinents pour supporter l'évolution des niveaux de trafic sur le secteur.

Depuis, l'avancement des études sur le projet (gestion des flux), ainsi que les différents retours d'une première phase de consultation avec les acteurs du territoire ont rendu nécessaire une mise à jour de l'étude de trafic comprenant la réalisation de nouveaux comptages, l'actualisation du modèle et la simulation de nouveaux scenarios. C'est pourquoi une nouvelle modélisation de trafic a été réalisée par le Cerema en 2021.

Dans cette étude, il est pris comme hypothèse que la part modale en tonnage du transport de marchandises par mode ferroviaire est comprise entre 26 % et 30 % sur toute la durée du projet (sauf en phase de démantèlement). Il existe encore de possibles marges de manœuvre en termes de reports modaux vers des alternatives au mode routier (utilisation du mode fluvial pour les voussoirs, plus grande capacité de l'installation terminale embranchée, etc.) mais elles se révèlent trop ponctuelles et/ou hypothétiques à l'heure actuelle pour en tenir compte (aléa des règles de mise en concurrence, investissement lourd pour des besoins limités dans le temps, etc.).

12.3.2.2.1 Le périmètre et le zonage de modélisation du trafic routier

Le périmètre de modélisation du trafic routier a été défini à partir des critères de choix suivants (cf. Figure 12-1) :

- itinéraires d'accès au futur centre de stockage Cigéo depuis les axes structurants du territoire (route nationale N4, route nationale N67, autoroute A31) ;
- évolution future du territoire (projets d'aménagement routier, zones de développement économique…) en lien ou non avec le projet global Cigéo ;
- limites administratives des communes et EPCI du territoire.

Le périmètre recoupe quatre départements différents (Meuse, Meurthe et Moselle, Vosges et Haute-Marne).

Ce périmètre est ensuite découpé en 281 zones (avec une zone puits et une zone descenderie), correspondant aux communes. Il a été décidé de faire un découpage par communes car celui-ci permet d'obtenir un zonage suffisamment fin permettant une bonne prise en compte des itinéraires, tout en conservant une bonne représentativité statistique. Afin d'injecter les flux dont l'origine est extérieure au périmètre de la modélisation, 14 zones dites externes ont été créées. Ces zones fictives encerclent le périmètre de la modélisation avec notamment quatre d'entre elles en charge de prendre en compte des flux longues distances provenant des quatre points cardinaux par rapport au périmètre de la modélisation.

Une fois le zonage réalisé, le positionnement des centroïdes[48] a été défini en fonction de l'urbanisation de la zone (présence d'une ville, secteur d'activité fortement générateur de déplacements…). Des connecteurs sont créés afin de faire le lien entre le centroïde (émettant et recevant les flux de déplacement) et le réseau de voiries. Ces connecteurs sont placés « à dire d'expert » principalement sur le réseau secondaire, afin que les flux se distribuent de manière homogène et pertinente sur les voiries.

[48] Les nœuds où sont situés les origines et destinations de chaque déplacement.

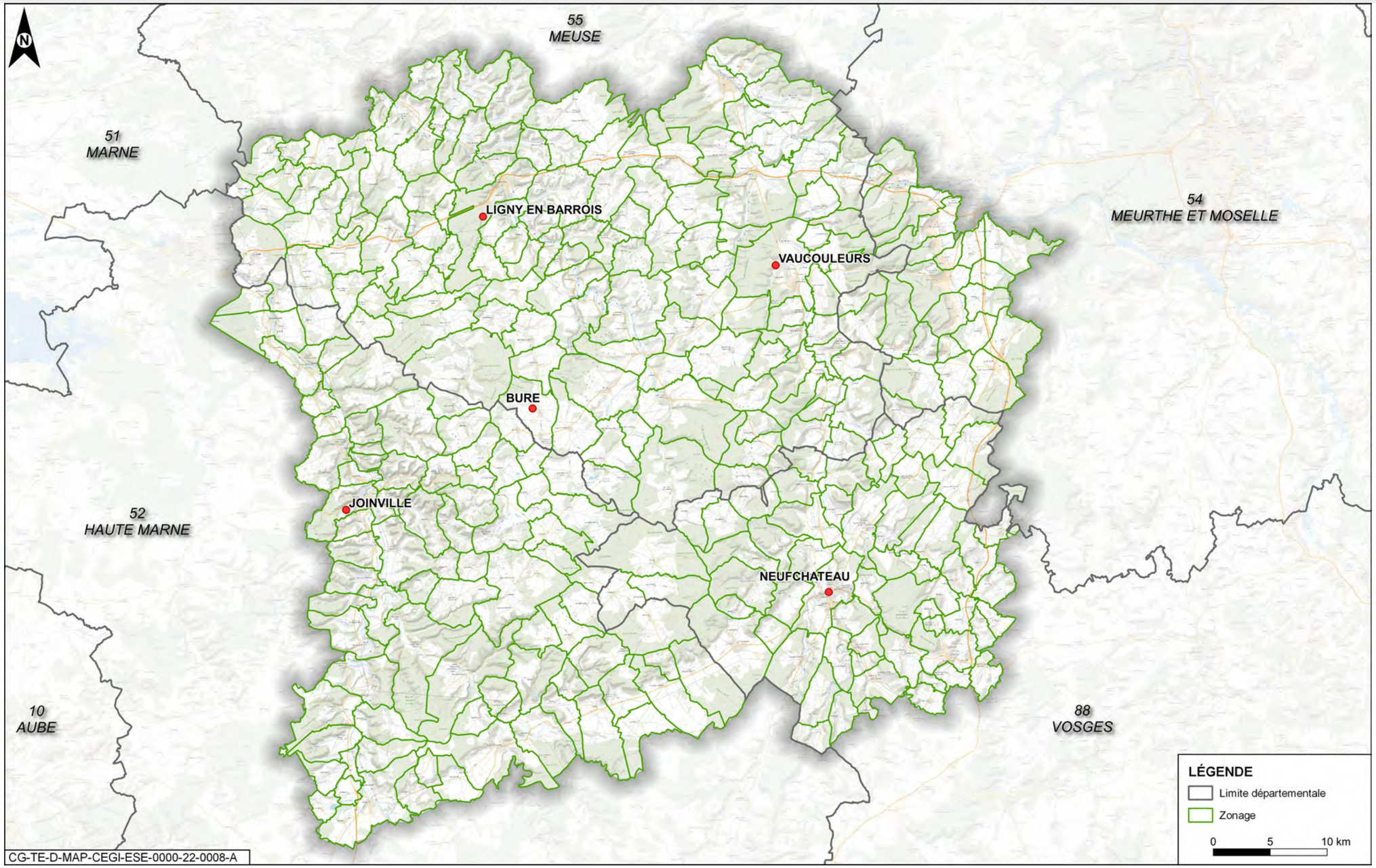


Figure 12-1 Périmètre de la modélisation de trafic

12.3.2.2.2 Le réseau de voiries routières

Le travail de construction du réseau de voiries routières a été réalisé à partir de bases de données géographiques (principalement la BD Carto de l'IGN et le réseau routier du modèle MODEST). Ce réseau est composé de 3 084 sections homogènes, appelées tronçons, comprenant chacun un ensemble de caractéristiques (ou attributs) :

- identifiant en lien avec la BD Carto (IGN) ;
- nom de la voie ;
- géométrie (longueur, nombre de voies, sens) ;
- typologie de voirie ;
- gestionnaire (département, commune, concessionnaire) ;
- capacité horaire des voies par sens en unité de véhicule particulier (UVP) : 1 PL (poids lourd) = 2,5 ou 3 VL (véhicules légers) = 2,5 ou 3 UVP (en fonction du type de route) exprimé en uvp/h/sens ;
- vitesses à vide (vitesse pratiquée en l'absence de tout véhicule sur le réseau. Elle peut être différente de la vitesse maximale autorisée avec une vitesse à vide plus faible sur les routes sinueuses ou plus forte sur les sections rectilignes) ;
- données de comptages (trafic moyen journalier annuel (TMJA), pourcentage poids lourds, année de comptages) ;
- coefficient de concentration de 2,6 (l'heure moyenne correspond à 10,8 % du trafic moyen journalier annuel) ;
- coefficients de paramétrage (alpha et bêta) des courbes débit-vitesse de type BPR (d'après le Bure*au of Public Roads* américain) ;
- tarification (péage sur autoroute A31).

Un regroupement des tronçons est réalisé au sein d'une typologie de 18 types différents de tronçons (hors type pour les connecteurs). Cette typologie créée tient compte de la hiérarchisation du réseau de chaque gestionnaire et intègre, entre autres, la capacité théorique et la vitesse à vide du tronçon.

12.3.2.2.3 État des lieux des données de trafic à l'état initial

Une fois le réseau de voiries codifié, les données de comptages disponibles sur le périmètre ont été récoltées auprès des cinq gestionnaires présents sur le périmètre de modélisation, à savoir la Direction régionale est (DIR est), le Conseil départemental (CD) 52, le CD 54, le CD 55 et le CD 88. Ces comptages servent de référence lors du calage du modèle pour vérifier que les niveaux de trafics du modèle sont bien cohérents avec la réalité.

Comme présenté au chapitre 12.3.2.1 du présent volume, ce sont au final 219 points de comptages qui ont ainsi été intégrés, dont 92 points réalisés par le prestataire de comptage de l'Andra, la société Alyce (cf. Figure 12-3), comme présenté au chapitre 12.3.2.1 du présent volume. La densité de comptage sur le département de la Meuse est plus faible car le gestionnaire diffuse uniquement ses résultats sous la forme de fourchettes de trafic. Même si ces fourchettes n'ont pas été intégrées au modèle elles ont servi lors du calage du modèle.

Tableau 12-2 Typologie de voirie utilisée au sein du modèle

Typologie	Typologie de voirie	Capacité horaire par sens (véh)	Coefficient de concentration	Vitesse à vide (km/h)	Alpha	Bêta
1	Largeur 5 m	950	2,6	80	0,7	3
2	Largeur 6 m	1 220	2,6	80	0,7	3
3	Largeur 7 m	1 350	2,6	91	0,5	3
5	3 voies/1 largeur 10,5 m	1 830	2,6	91	0,5	3
7	2 x 2 voies (carrefour plan)	3 100	2,6	110	0,41	4
8	2x2 voies (autoroute concédée)	3 460	2,6	131	0,41	4
10	2 x 2 voies (route express)	3 460	2,6	110	0,41	4
130	2 x 2 voies (autoroute non concédée)	3 460	2,6	131	0,41	4
131	2 x 2 voies (autoroute non concédée)	3 460	2,6	131	0,41	4
21	Deux voies normales	1 200	2,6	46	5,6	3,4
22	Deux voies rapides	1 200	2,6	72	2,7	6,5
31	Bretelle entée	1 350	2,6	91	0,41	4
32	Bretelle sortie	1 350	2,6	91	0,41	4
33	Échangeur autoroutier	1 350	2,6	91	0,41	4
1 031	Départementale	1 220	2,6	80	2,65	3,72
2 003	Nationale	1 350	2,6	91	0,5	3
1 040	Section interurbaine	950	2,6	80	4,79	3,72
1 062	Section urbaine	1 200	2,6	46	5	3,72

La carte en figure 12-2 présente l'ensemble du réseau de voiries existant au sein du périmètre de modélisation.

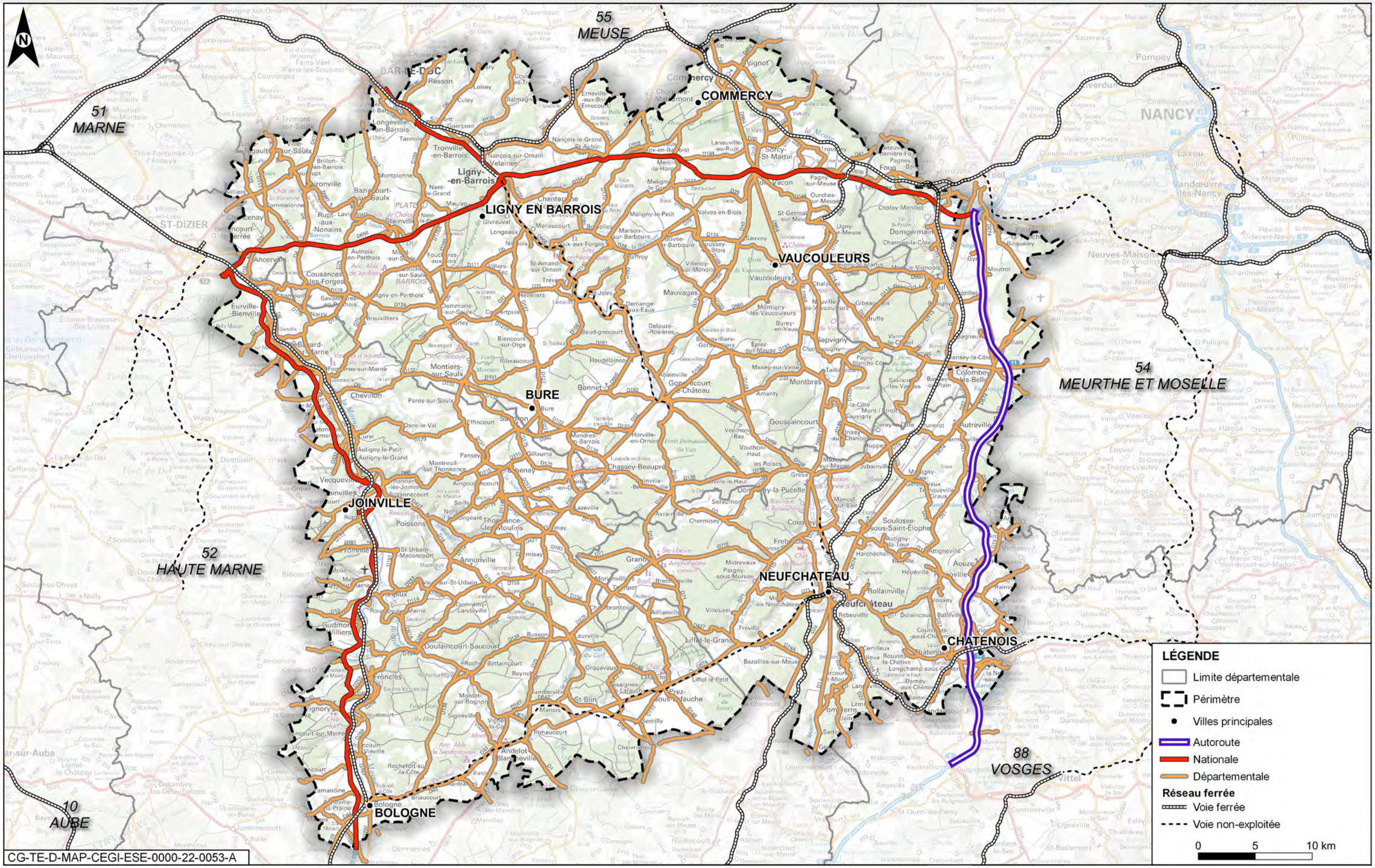


Figure 12-2 Carte du réseau modélisé au sein du modèle en fonction de la catégorie de voirie

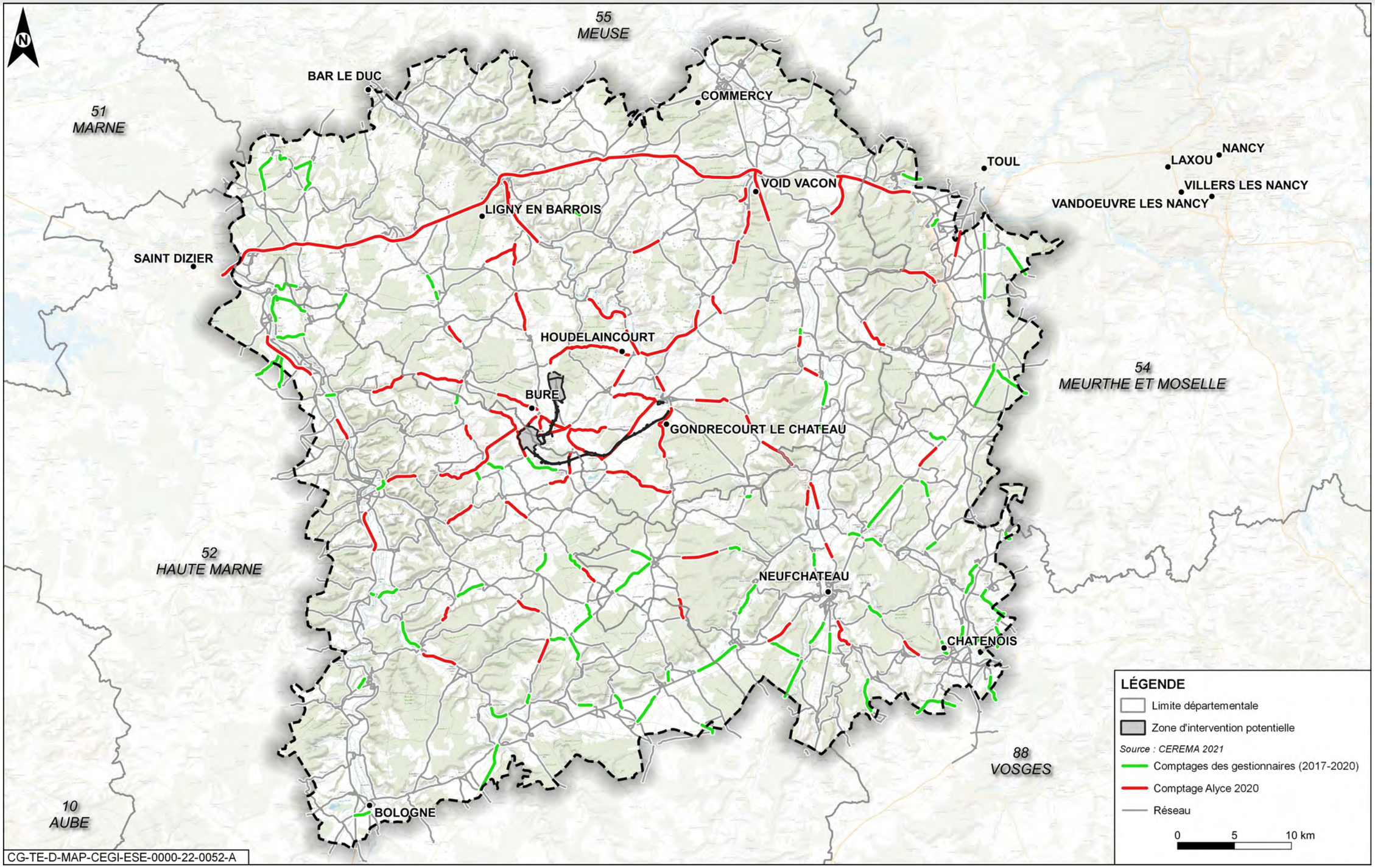


Figure 12-3 Cartographie des 219 sections de comptages intégrés au sein du modèle

12.3.2.2.4 Calage du modèle de trafic de l'état initial

L'exercice de calage consiste à reconstituer, avec le modèle de trafic, les volumes de trafic observés sur les tronçons du réseau. Il s'agit d'un processus itératif à l'échelle du modèle et de certains itinéraires entraînant les modifications importantes du codage du réseau pour vérifier :

- la finesse du réseau modélisé versus la finesse du zonage du modèle ;
- la cohérence des vitesses sur le réseau suivant la typologie des arcs ;
- la position des connecteurs et des centroïdes en fonction des tâches urbaines ;
- l'adaptation des capacités sur le réseau ;
- la cohérence des résultats du modèle de demande de déplacements.

a) Le calage manuel

Le calage manuel consiste à faire correspondre, pour chacun des 3 084 tronçons, les vitesses et les capacités modélisées afin que :

- les temps de parcours à vide correspondent bien à la réalité ;
- les capacités observées soient cohérentes avec les comptages (par exemple, ne pas avoir une route avec une capacité plus importante que dans la réalité).

Afin de vérifier la qualité et la cohérence du travail réalisé, une comparaison des itinéraires et des temps de parcours entre le modèle et les temps « Google maps » a été réalisée sur les près de 90 itinéraires suivants.

Les résultats obtenus en matière d'itinéraire et de vitesse à l'échelle du modèle sont cohérents avec un coefficient directeur et un coefficient de corrélation proche d'un pour la courbe de tendance.

Il s'agit alors de vérifier que les trafics modélisés sont eux-mêmes cohérents avec les comptages réalisés sur les différentes voiries. La qualité du modèle est analysée en comparant les trafics issus du modèle et ceux issus de 219 points de comptages réalisés récemment (cf. Figure 12-5 et figure 12-6).

Pour identifier les secteurs où le modèle reproduit mal les niveaux de trafic observés, l'indicateur GEH (appelé ainsi d'après son inventeur Geoffrey E. Havers) est utilisé. Il permet de comparer les volumes de déplacements modélisés aux observations sur la base de la formulation suivante :

$$\mathrm{GEH} = \sqrt{\frac{(\mathrm{M}-\mathrm{C})^2}{(\mathrm{M}+\mathrm{C})/2}}$$

Avec M : flux modélisé et C : valeur enquêtée

Cette formule permet, à la différence du calcul de l'écart relatif, de prendre en compte l'écart entre la valeur enquêtée et celle du modèle en tenant compte du niveau de trafic de la voirie considérée.

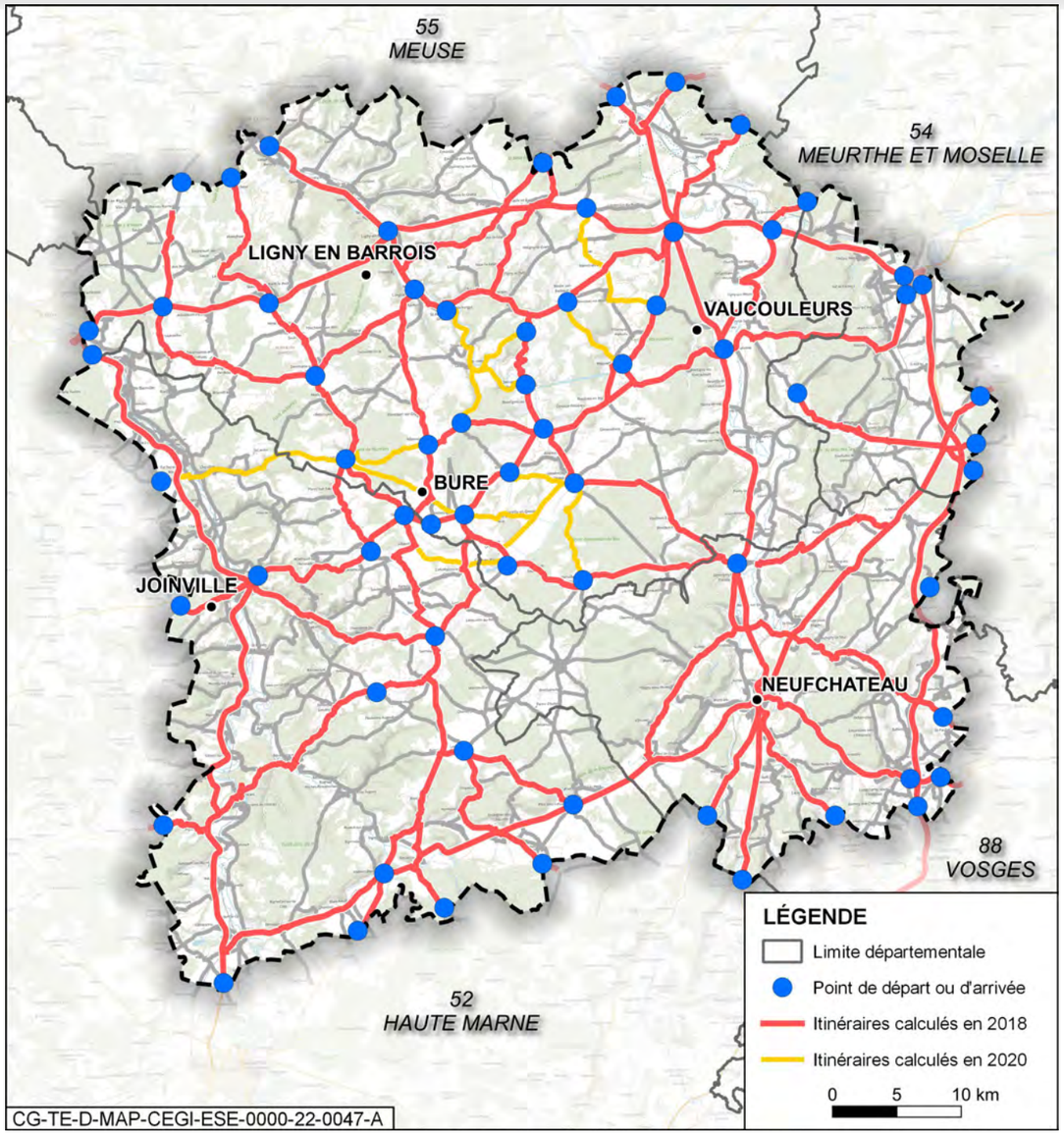


Figure 12-4 *Itinéraires ayant fait l'objet d'une vérification des temps de parcours (en rouge itinéraires calculés en 2018, et en jaune en 2020), avec leurs points de départ ou d'arrivée (points bleus)*

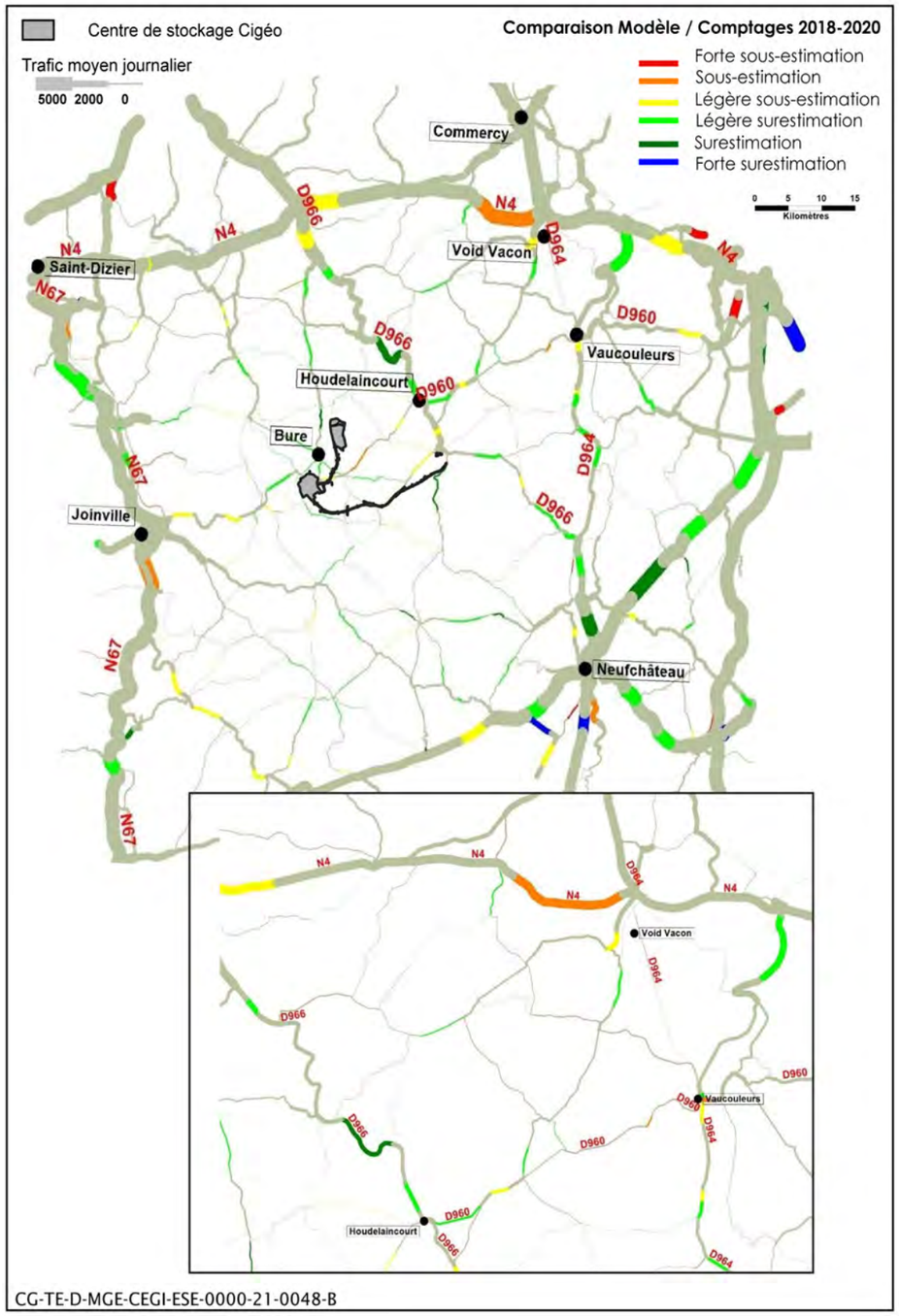


Figure 12-5 *Carte de comparaison entre les comptages et les résultats du modèle après le calage manuel*

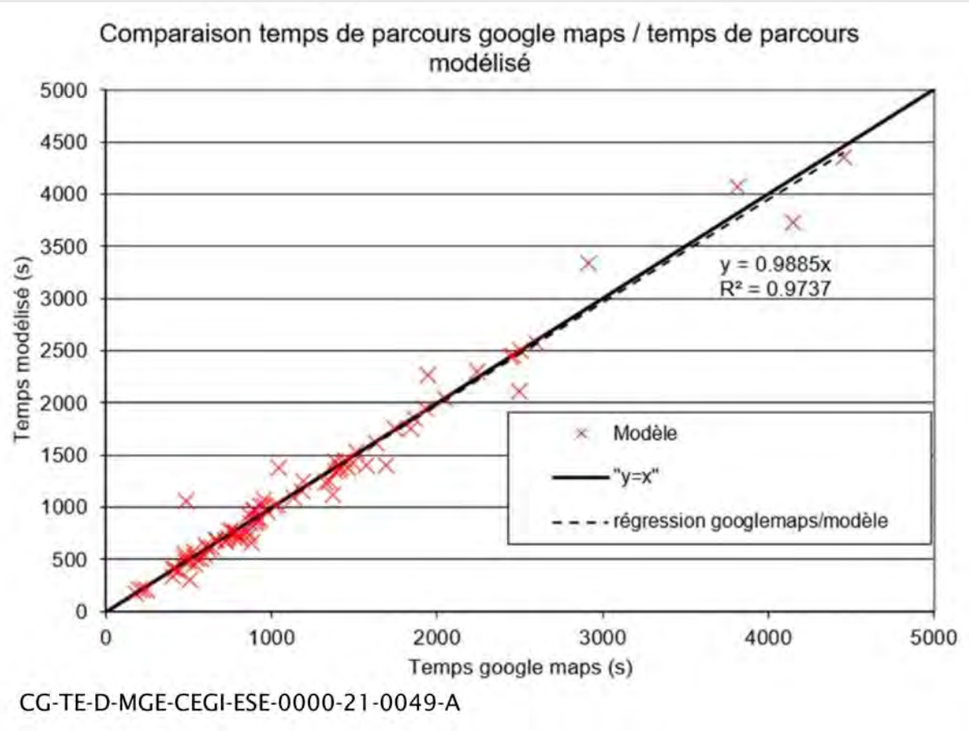


Figure 12-6 *Graphique de résultat de comparaison des trafics entre les comptages et les résultats issus du modèle après le calage manuel*

Avec 72 % de comptages correctement calés, 18 % de comptages légèrement sur- ou sous-estimés, et seulement 10 % de comptages mal calés, situés tous en bordure de périmètre, les résultats sont conformes à l'état des pratiques de modélisation des trafics. Ils permettent d'envisager une correction de la matrice de flux VL/PL sans risque d'introduire un biais important dans le modèle.

Les résultats sont alors conformes à l'état de l'art des études de trafic.

b) Le calage automatique des matrices de flux VL/PL

Afin d'améliorer les résultats du modèle, un calage automatique est réalisé au sein du logiciel TransCAD sur les matrices VL/PL :

- la matrice interne VL est basée uniquement sur le motif domicile-travail. Si celui-ci est très structurant et la démarche justifiée à une échelle globale, les autres motifs sont néanmoins orientés autour d'autres pôles générateurs (les commerces par exemple) et selon d'autres logiques (distances plus courtes) ;
- la matrice interne PL est basée sur une enquête définie à l'échelle de la zone d'emploi, voire du département. Les résultats sont transposables sur un zonage plus fin, mais uniquement en ordres de grandeur ;
- les matrices d'échange et de transit sont basées sur des enquêtes ayant un échantillon de l'ordre de 10 % du trafic d'un mardi ou d'un jeudi « normaux ». Cela permet d'identifier précisément les plus gros générateurs de trafic, mais les résultats sont beaucoup moins précis lorsque la demande est diffuse sur un vaste territoire à dominante rurale.

L'outil a été paramétré afin de ne pas dénaturer totalement les volumes pour conserver l'ordre de grandeur initialement fourni par le recensement.

La comparaison entre les comptages et les résultats du modèle après le calage automatique montre que le modèle permet de reconstituer très précisément la circulation constatée (cf. Figure 12-7). Les plus gros écarts portent sur des points particuliers (à hauteur d'une zone commerciale à Ligny-en-Barrois ou sur une bretelle de la route

nationale N67 à Thonnance-lès-Joinville), pour lesquelles un niveau de zonage infra communal serait nécessaire pour reconstituer précisément la circulation.

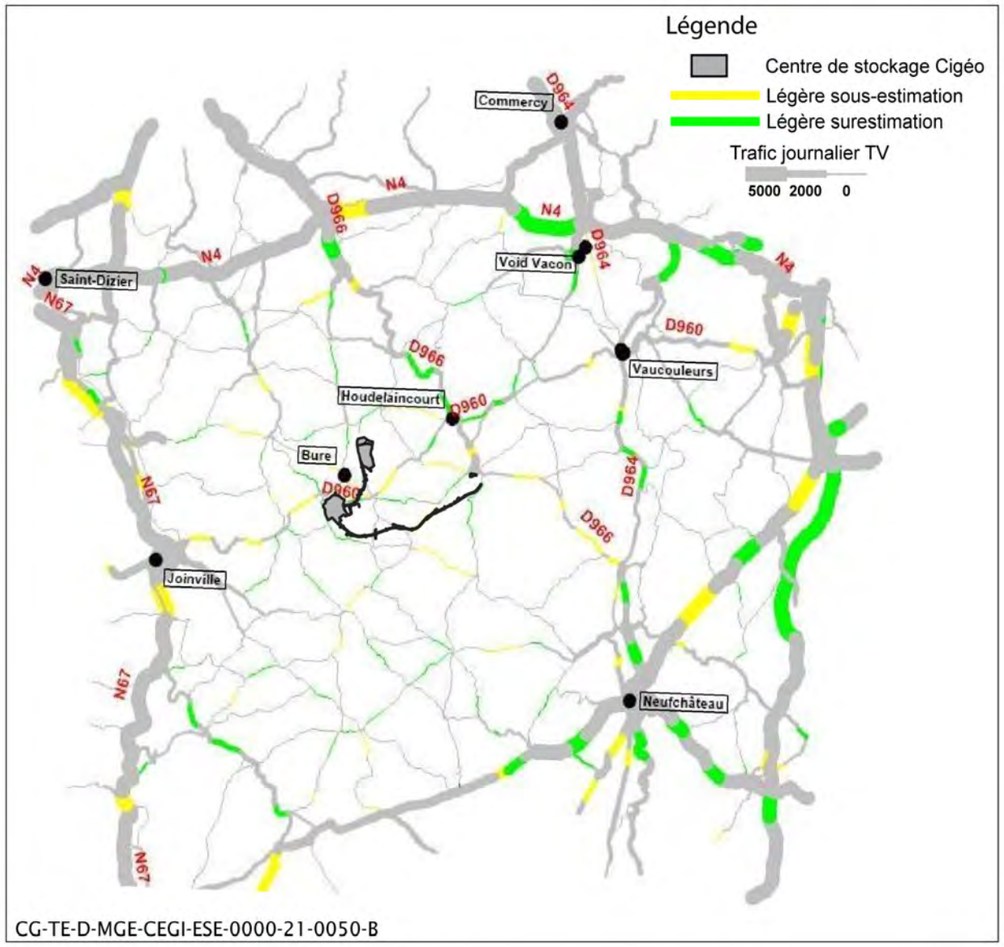


Figure 12-7 Carte de comparaison entre les comptages et les résultats du modèle après le calage automatique

c) Prise en compte de la fermeture du pont de Void-Vacon

Le calage est effectué sur la base de la simulation d'un scénario incluant la fermeture du pont de Void-Vacon. Un deuxième scénario est calculé sur la base des mêmes matrices de trafic mais avec le pont de Void-Vacon ouvert à la circulation. La comparaison de ces deux scénarios permet d'estimer l'effet de la fermeture du pont, qui peut être comparée aux données de comptages de trafic. D'après les résultats du modèle, il en ressort que :

- la fermeture du pont entraîne une baisse très importante du trafic sur la route départementale route départementale D964 entre Void-Vacon et Vaucouleurs (2 700 véhicules/jour) alors que l'écart entre les comptages de 2017 et de 2020 n'est que de -1 500 véhicules/jour ;
- l'augmentation du trafic sur la route départementale D36 est de 1 800 véhicules/jour alors que l'écart entre les comptages de 2017 et de 2020 dans les comptages est de +1 300 véhicules/jour ;
- l'augmentation du trafic sur la route départementale D960 entre Vaucouleurs et Delouze est de 300 véhicules/jour valeur correspondant à l'écart entre les comptages de 2017 et de 2020.

Certaines autres similitudes peuvent être constatées, comme les légères baisses du trafic sur l'ensemble de la route départementale D960 entre Bure et Delouze et sur la route départementale D964 au sud de Vaucouleurs ou encore la hausse du trafic sur la route départementale D966 au sud de Houdelaincourt.

Cependant, cet exercice présente quelques limites : le nombre de points de comptage beaucoup moins important en 2017 et les périodes de recueil très différentes rendent l'analyse très partielle. Il en ressort que :

- en règle générale, les résultats du modèle sont cohérents avec les comptages, selon des ordres de grandeur satisfaisants, même pour des effets assez faibles (par exemple sur la route départementale D960 entre Delouze et Vaucouleurs) ;
- le seul écart significatif est constaté sur la route départementale D964 entre Vaucouleurs et Void-Vacon. Les données 2017 sont insuffisantes pour bien comprendre les raisons de cet écart : il manque notamment des comptages 2017 sur les routes départementales D10 et D29.

Au vu des éléments disponibles, les simulations donnent des résultats satisfaisants, correspondant au standard des bonnes pratiques de modélisation du trafic et aux enjeux particuliers de l'étude.

12.3.2.2.5 Profil journalier et horaire des trafics

Le modèle fournit des chiffres en trafic moyen journalier annuel (TMJA) et non en trafic horaire ou en jours ouvrés. Plusieurs raisons expliquent ce choix :

- le fonctionnement du projet global Cigéo six jours sur sept. La minimisation de l'impact du projet sur la circulation en restant sur une analyse du lundi au dimanche paraît tout aussi pertinente que de ne retenir les jours ouvrés ;
- en dehors des recueils spécifiques effectués en septembre 2020 et novembre 2017, la grande majorité des données disponibles sur le territoire, notamment sur le réseau départemental, est issue de comptages temporaires à la semaine (TMJA). Il aurait été difficile – voire impossible – de reconstruire l'information sur les jours ouvrés (TMJO) ou sur les trafics à l'heure de pointe ;
- les besoins des études d'impact sur les pollutions atmosphériques et sonores se basant principalement sur des données TMJA et non TMJO ;
- le décalage probable entre l'heure de pointe sur le réseau et l'heure de pointe d'arrivée et de départ des employés (avec la gestion en 3 x 8).

Il est néanmoins possible, à partir des comptages réalisés à proximité du projet par la société Alyce, de calculer des ratios moyens de passage, afin d'approcher, si nécessaire, les trafics jours ouvrés et horaires à partir des résultats du modèle du trafic routier.

Les résultats présentés correspondent à une exploitation de données comprises entre 2015 et 2017. Une mise à jour avec des données plus récentes n'est pas nécessaire, aucune modification du territoire susceptible de modifier les profils journaliers et horaires des trafics n'ayant été identifiée entre 2018 et 2020.

a) Moyenne journalière versus moyenne en jours ouvrés

Les ratios TMJA/TMJO ont été estimés sur la base des 25 points de comptages réalisés par Alyce et de 12 points de comptages sur le réseau routier national fournis par la DIR EST.

Tableau 12-3 Synthèse des ratios par type de réseau et par mode

Ratio TMJA/TMJAO	VL	PL
Réseau national	1,00	0,77
Réseau départemental	0,92	0,77

b) Profil horaire sur le réseau routier national

Les profils horaires suivants ont été calculés à partir des données VL et PL de 12 points de comptages situés sur le réseau routier national.

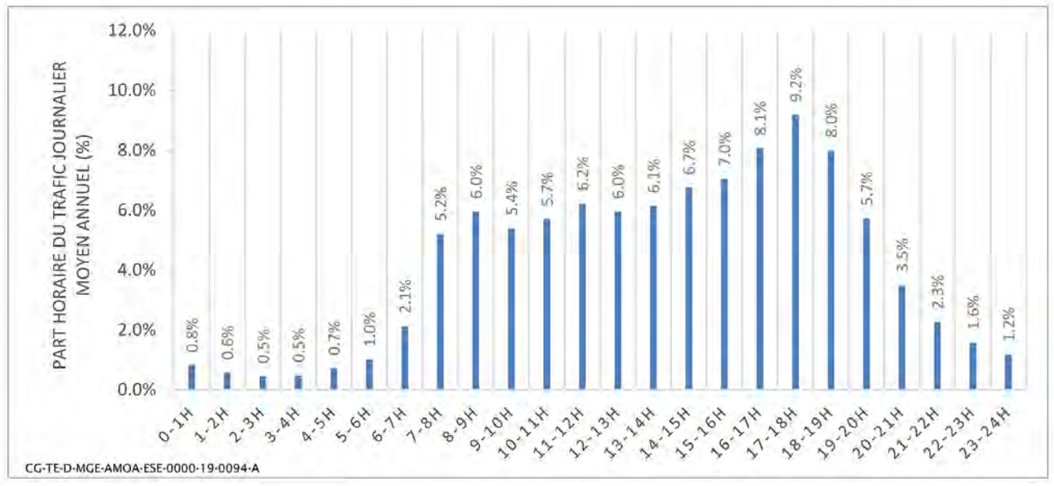


Figure 12-8 Profil horaire moyen pour les VL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo

L'heure de pointe du matin (8 h - 9 h) représente ainsi 6 % du trafic journalier moyen et l'heure de pointe du soir (17 h - 18 h) représente 9,2 %.

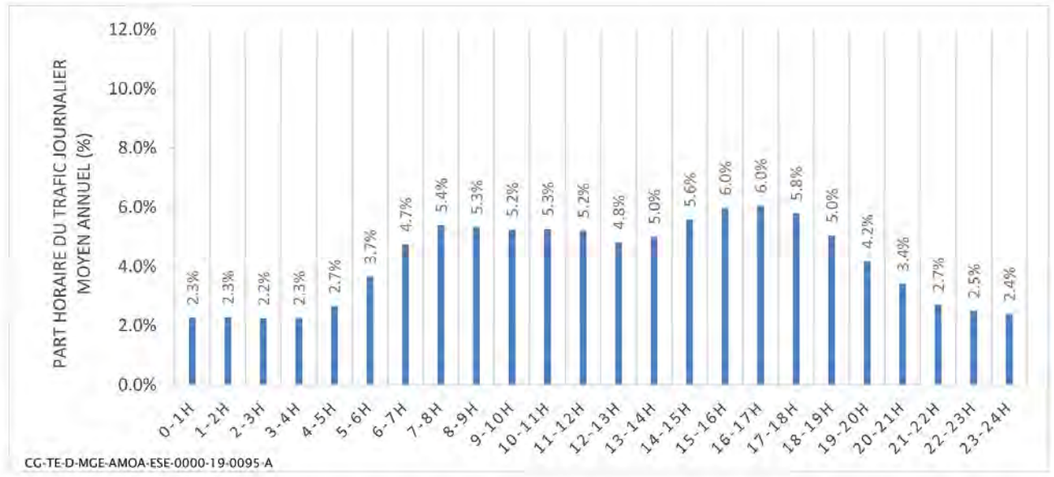


Figure 12-9 Profil horaire moyen pour les PL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo

Pour les poids lourds, les trafics sont beaucoup moins contrastés sur la journée (pas de phénomène d'hyperpointe). Le pourcentage reste compris entre 4 % et 6 % du trafic entre 6 h et 20 h.

c) Profil horaire sur le réseau routier départemental

À la différence des données disponibles sur le réseau routier national, seul le profil horaire tous véhicules a été calculé sur le réseau départemental. Les données de trafics PL ne sont pas suffisantes pour produire un profil horaire fiable sur la plupart des routes départementales.

Ce profil horaire « tous véhicules » a été calculé sur la base de 27 points de comptages horaires sur le réseau départemental (24 comptages d'Alyce, un comptage sur la route départementale D674 à Colombey-Les-Belles, un comptage sur la route départementale D166 à Rouvres et un comptage sur la route départementale D674 à Soulosse).

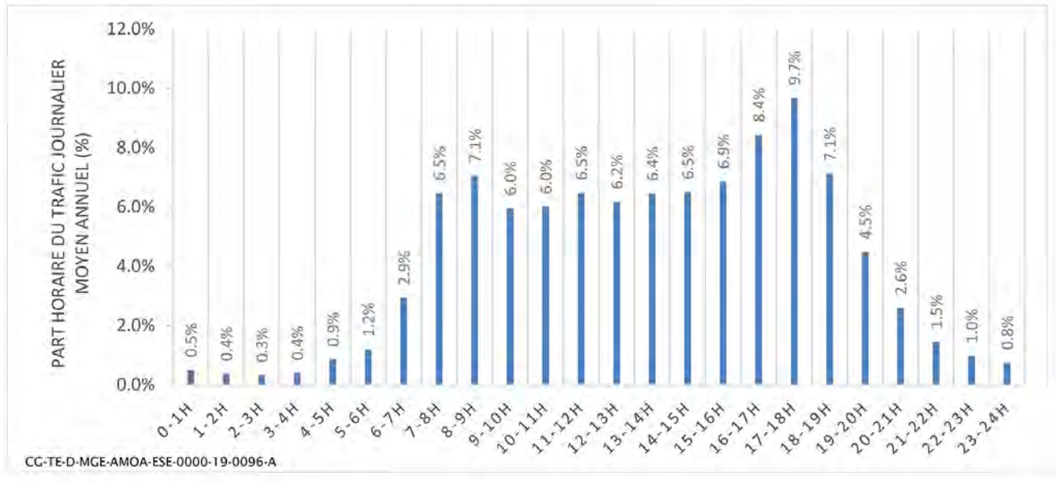


Figure 12-10 Profil horaire moyen "tous véhicules" sur le réseau départemental à proximité du projet global Cigéo

L'heure de pointe du matin (8 h - 9 h) représente ainsi 7,1 % du trafic journalier moyen et l'heure de pointe du soir (17 h - 18 h) représente 9,7 %.

12.3.2.2.6 Limites du modèle

Le modèle intègre plusieurs limites inhérentes aux données disponibles :

- l'absence de données d'enquêtes (absence d'enquête ménage-déplacement) sur une grande partie du périmètre qui aurait permis de fiabiliser le calcul de la demande, sans toutefois remettre en cause les résultats ;
- le modèle utilisé, modèle d'affectation routier, n'intègre pas directement les reports modaux de la route vers le fer. Le report modal a été intégré au modèle sur la base d'une expertise préalable à l'utilisation du modèle ;
- le modèle d'affectation statique utilisé avec un raisonnement en TMJA ne permet pas d'analyser avec précision les phénomènes de saturation. Néanmoins, l'utilisation de rations moyens de passage du TMJA au TMJO permet d'identifier avec fiabilité les points noirs sur le réseau.

12.3.2.2.7 Choix des horizons prospectifs d'analyse

Cinq horizons prospectifs ont été retenus en lien avec la vie du projet global Cigéo, afin de reconstituer l'impact du projet à différents moments, à la fois pour la phase de construction (ici comprend les aménagements préalables et la construction initiale) mais également pendant la phase de fonctionnement.

Afin de modéliser les effets pour chaque étape de la vie du projet global Cigéo, il convient de sélectionner les années les plus pertinentes pour représenter chacune de ces étapes.

Seules les périodes antérieures à 2070 sont retenues, car il n'existe pas à l'échelle française d'hypothèses nationales sur l'évolution des trafics jusqu'en 2150. Par exemple, dans le cadre de la réalisation de projet d'infrastructure autoroutière, les calculs socioéconomiques (et donc les études de trafics) sont réalisés au maximum jusqu'en 2070. En l'absence d'hypothèses de cadrage national sur cette question, il s'avère peu pertinent d'apprécier l'impact du projet sur les trafics après cette date.

Une fois ce constat posé, il s'agit de savoir si l'on cherche à représenter sur cette même période le pic des trafics générés par le projet sur une période donnée ou sur une moyenne des trafics. Le pic de trafic correspond à une un flux maximal sur le réseau pour une période donnée L'utilisation du pic risque d'induire un surdimensionnement des infrastructures, mais il s'agit également d'une réalité représentant l'impact maximal sur les circulations autour du projet. À l'inverse, l'utilisation de la moyenne se révèle intéressante lorsque les trafics émis et reçus varient fortement sur une même période du projet. En l'occurrence, les trafics générés sont relativement similaires au sein de chaque période, sauf pour la phase de construction initiale où les écarts entre les années se révèlent importants.

Il a donc été choisi de retenir l'année de pic de chacune des phases du projet sur la logique de maximisation de la prise en compte des impacts en rajoutant pour la phase de construction initiale une analyse sur la moyenne des trafics. L'année de pic correspond à l'année enregistrant la plus forte circulation sur le réseau (trafics du lundi au dimanche) pour la phase considérée. À noter que les résultats des études de trafic présentés ne sont pas définitifs et seront affinés ultérieurement lors des actualisations des études de flux. Les situations retenues pour cette étude d'impact sont majorantes.

12.3.2.2.8 Hypothèses prospectives sur les projets d'infrastructures et d'aménagement

Dans le cadre d'une modélisation, seuls les projets qui seront effectivement réalisés sont intégrés au sein des scénarios prospectifs du projet. Or, en l'état actuel des discussions. Il est impossible de savoir quels seront les arbitrages sur l'ensemble de ces projets. Il a donc été retenu de n'intégrer que les projets de priorité 1 indispensables à la réalisation du projet global Cigéo, à savoir :

- les aménagements ferroviaires, incluant la remise à niveau de la liaison ferroviaire 027000 Nançois-Tronville et la création de l'installation terminale embranchée (ITE). Ces projets ne sont pas représentés dans le modèle de trafic routier, mais leur réalisation impacte les hypothèses de répartition route/fer du transport de marchandises ;
- les aménagements routiers avec l'accès à la zone puits par le sud *via* la route départementale D960, la liaison intersites et la déviation des routes départementales D960 et D60 au niveau de la zone descenderie.

Concernant le raccordement de la zone descenderie, il a été décidé de conserver une seule entrée/sortie côté Mandres-en-Barrois car le raccordement côté Saudron est réservé en phase de construction initiale à une partie des PL. Or, d'une part, le trafic PL généré par le projet est au maximum de 80 PL/jour l'année pic de la phase de construction initiale ; et d'autre part, la route départementale D175, seul axe pour lequel cette hypothèse a une influence notable en termes de prévisions de trafic, est interdite au trafic PL en provenance et à destination du projet.

L'accès à la zone puits se fait uniquement par la route départementale D960 pour les véhicules particuliers. La déviation n'est pas interconnectée avec la route départementale D132 ; la voie d'accès passant dessous grâce à un ouvrage. L'ensemble du trafic poids lourds à destination de cette zone arrive en zone descenderie et emprunte la liaison privative intersites.

12.3.2.2.9 Hypothèses prospectives sur les flux générés par le projet global Cigéo et leur distribution sur le territoire

Les flux de circulations générées par le projet sont répartis en deux grandes catégories :

- les flux de véhicules légers (VL) intégrant les employés de l'Andra et de ses sous-traitants à la fois lors des phases de travaux et de fonctionnement ;
- les flux de poids-lourds (PL) générés par le transport de matériaux tels que : acier béton, acier charpente, béton, ciment, gravier, sable, voussoirs, etc.

Concernant le transport des colis de déchets nucléaires, l'hypothèse selon laquelle l'essentiel des convois transitent par la voie ferrée – estimé à deux par semaine au maximum – est actée.

Associé à chaque typologie de flux, les résultats agrégés pour chaque année et chaque horizon prospectif sont calculés, pour chaque type de jour (jour ouvré de semaine et samedi) et pour chaque période de la journée (le matin de 6 h à 12 h, le midi de 12 h à 18 h et le soir de 18 h à 22 h).

Ces flux ont ensuite été distribués sur le territoire afin d'approcher l'origine ou la destination en France et la zone concernée (puits ou descenderie).

Les origines des flux VL en situation future sont basées sur les pratiques relevées au travers des enquêtes existantes sur la localisation des salariés et des prestataires de l'Andra. La répartition de ces flux se fait en fonction de la répartition estimée des salariés et des prestataires de l'Andra entre les zones puits et descenderie.

L'origine des flux PL en situation future est réalisée en fonction des critères suivants :

- mise en place d'une typologie d'année pour chaque type de matériaux (année basse, année moyenne, année de pic) au sein de chaque période, car le tonnage estimé pour un matériel varie plus ou moins fortement au sein d'une même période ;
- réflexion sur la possibilité d'acheminement de chaque matériau par voie ferrée ou par voie fluviale, soit au travers de plusieurs critères (embranchement du lieu d'origine au réseau ferroviaire national, distance du lieu d'origine au projet global Cigéo, pertinence économique au regard des volumes, capacité de l'installation terminale embranchée du projet global Cigéo, etc.) ;
- analyse des chaînes de production des matériaux ;
- estimation pour chaque matériau de ratios PL correspondant à la quantité (en tonnes.m^{-3} ou unité en fonction des matériaux) de matériel transportable par un PL. Ces ratios sont issus des documents fournis par l'Andra et des entretiens réalisés auprès des professionnels du secteur ;
- la liste des prestataires (carrière, centrale à béton, etc.) répondant aux exigences de l'Andra en matière de qualité des matériaux ;
- volonté assumée de l'Andra de privilégier autant que possible le transport par voie ferrée ;
- privilégier des sources d'approvisionnement locales et variées.

La répartition de ces flux de marchandise entre les zones puits et descenderie se fait en fonction des besoins estimés par l'Andra lors de la construction ou de l'exploitation du site.

Les flux PL liés au démantèlement et à la fermeture du site ne sont pas modélisés, il est difficile d'estimer précisément la durée et l'importance de ces flux à l'heure actuelle.

Les hypothèses retenues ont été agrégées au sein d'un outil (Transcad 8.0) afin de produire de manière automatisée la répartition des flux routiers générés par le projet année après année à chaque horizon prospectif.

La part modale en tonnage du transport de marchandises par mode ferroviaire reste comprise entre 26 % et 30 % sur toute la durée du projet. Il existe encore de possibles marges de manœuvre en termes de reports modaux vers des alternatives au mode routier (utilisation du mode fluvial pour les voussoirs, plus grande capacité de l'ITE, etc.) mais elles se révèlent trop ponctuelles et/ou hypothétiques à l'heure actuelle pour en tenir compte (aléa des règles de mise en concurrence, investissement lourd pour des besoins limités dans le temps, etc.).

12.3.2.2.10 Mise en place d'interdictions pour les poids-lourds

Lors des premières simulations réalisées avec le modèle de trafic, il s'est rapidement révélé nécessaire de mettre en place des interdictions PL. En effet, au regard des délibérations des Conseil Départementaux et du diagnostic des itinéraires, les flux générés par le projet empruntaient un trop grand nombre d'itinéraires inadaptés, tant en termes de géométrie que de sinuosité. Les itinéraires à privilégier qui sont en capacité de recevoir un fort trafic de PL sont donc :

- **en Meuse** : prioritairement l'axe de la route départementale D960/10 entre Saudron et Void-Vacon et en second la route départementale D966 entre Ligny-en-Barrois et Houdelaincourt ;
- **en Haute-Marne** : la route départementale D60. À terme, l'itinéraire de la route départementale D25 (entre la route départementale D67 A et Germay) – Route départementale RD151 (Entre Germa et la route départementale D 60) en cours d'aménagement et d'études entre la route départementale D674 et la route départementale D60 (pour créer un axe nord-sud).

La carte ci-après représente les axes pour lesquels les flux PL à destination du projet ont été interdits.

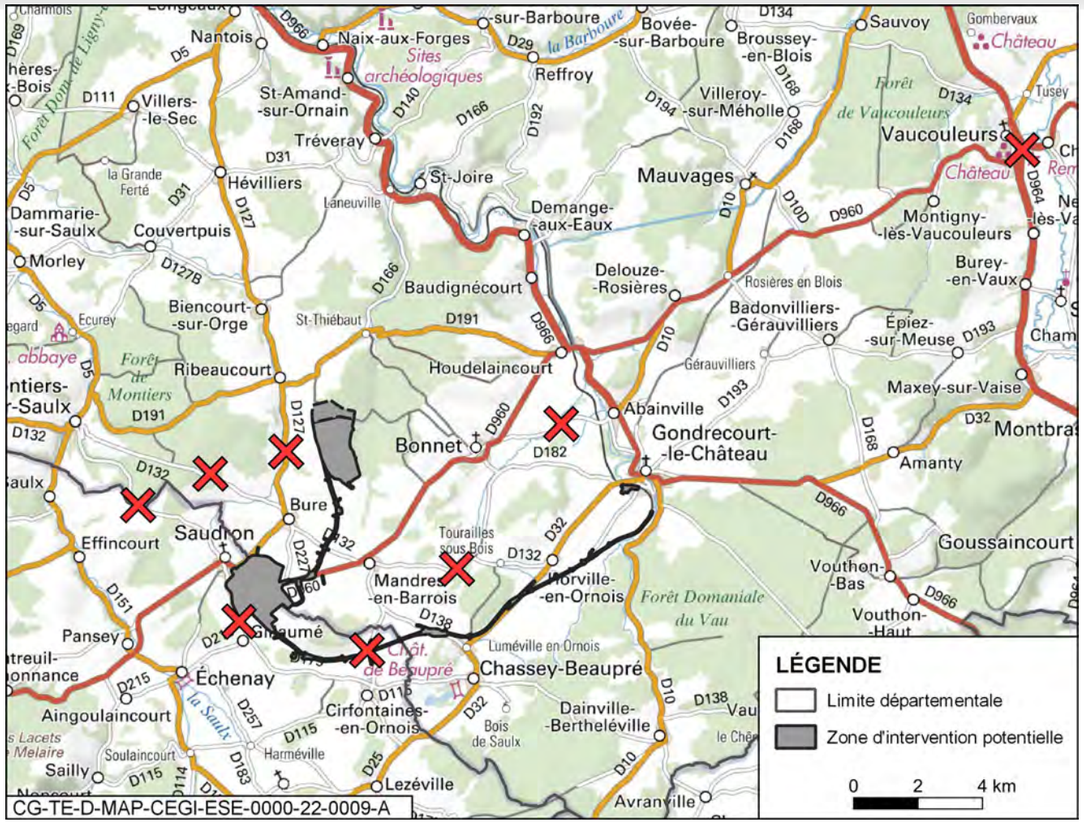


Figure 12-11 Carte des interdictions PL mise en place au sein du modèle de trafic

12.3.2.2.11 Prévisions de trafics en situations futures

L'étude des horizons prospectifs s'effectue en comparaison entre le scénario sans projet et le scénario de projet à la même année, permettant d'identifier strictement les effets du projet, par rapport aux effets du contexte économique, d'autres politiques de transports ou d'autres projets. L'évolution des trafics dans le temps pourra également être regardée.

Dans ce chapitre, les analyses produites s'articulent autour de quatre axes, à savoir :

- des analyses des niveaux de trafics VL et PL, afin d'apprécier les volumes de trafics à différentes échelles et aux différents horizons ;
- l'impact du projet sur les niveaux de trafics au travers de l'augmentation tous modes, induite par le projet sur les voiries ;
- la répartition sur le réseau de proximité des flux VL et PL générés par la zone puits et la zone descenderie, afin d'identifier les principaux itinéraires d'accès ;
- une analyse du fonctionnement du réseau routier au travers d'un taux de saturation (ou taux de congestion) sur les voiries en matière de débit avec la formule suivante :

$$\text{Taux de saturation} = \frac{\text{Nombre de véhicules (uvp)}}{\text{Capacité horaire thérique de la voirie (uvp)}}$$

Ce taux est compris entre 0 % et 100 % : plus il est élevé, et plus la congestion en section courante est importante. En ingénierie des trafics, on considère que des dysfonctionnements peuvent apparaître à partir de 80 % de saturation, avec des risques de ralentissements et/ou de remontées de file. Ce calcul permet d'identifier les points noirs du réseau mais pas directement les éventuels problèmes rencontrés aux carrefours. Les résultats sont calculés à partir des trafics obtenus en « unité de véhicule particulier (uvp) », afin de tenir compte de l'occupation de la voirie par les poids lourds.

12.3.3 Trafic routier pour les autres opérations du projet global Cigéo

À ce stade des études, les trafics en phase d'aménagements préalables des opérations des autres maîtres d'ouvrage ne sont pas intégrés à la modélisation des trafics engendrés par le centre de stockage, néanmoins la modélisation ne sera pas remise en cause car les trafics sont faibles. Ces trafics ont été estimés sur la base des mouvements de terres (déblais et remblais) susceptibles d'être générés par ces opérations, ramenés à un nombre de poids lourds par jour.

12.4 Méthodologie utilisée pour le rétablissement des voiries interceptées

Aucune infrastructure ferroviaire n'est interceptée par le projet global Cigéo.

Un recensement exhaustif des voiries interceptées par le centre de stockage Cigéo a été réalisé par consultation de la carte topographique de l'institut géographique nationale, des visites de site et une concertation menée avec les acteurs locaux. Les modalités de rétablissements ont été fixées en concertation avec ces acteurs locaux.

Concernant les autres opérations du projet global Cigéo, dont la conception n'est pas aussi avancée, les modalités précises de rétablissements seront détaillées lors de la poursuite des études et en concertation avec les acteurs locaux.

12.5 Méthodologie utilisée dans le calcul des consommations énergétiques

12.5.1 Méthodologie appliquée

Trois évaluations des consommations énergétiques ont été conduites, chaque fois en différentiel entre deux situations :

- une première évaluation est établie par différence entre une situation dans laquelle le projet global Cigéo est réalisé, avec le programme d'infrastructures de transport retenu pour accompagner le centre de stockage Cigéo (cf. La description de ce programme dans le volume II de la présente étude d'impact), et la situation dans laquelle le projet global Cigéo n'est pas réalisé ;
- une deuxième évaluation est établie par différence entre une situation dans laquelle le projet global Cigéo est réalisé, mais dans laquelle on limite les aménagements à réaliser en réutilisant autant que faire se peut les infrastructures de transport existantes, et la situation dans laquelle le projet global Cigéo n'est pas réalisé ;
- une troisième évaluation est menée par différence entre deux situations dans lesquelles le centre de stockage Cigéo est réalisé :
  - ✓ dans un cas, le programme d'infrastructures de transport retenu est réalisé ;
  - ✓ dans l'autre cas, ce programme n'est pas réalisé et on limite les aménagements à réaliser en réutilisant autant que faire se peut les infrastructures de transport existantes.

Dans la première et la seconde évaluation, la réalisation du centre de stockage génère des besoins nouveaux en déplacements de biens et de personnes : transport des matériaux nécessaires à la construction du centre de stockage Cigéo, acheminement des déchets nucléaires, trajets domicile-travail des employés du centre de stockage Cigéo, etc. L'évaluation détermine donc les consommations énergétiques associées à ces déplacements supplémentaires résultant de la construction, puis du fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

Dans la troisième évaluation, les besoins de déplacements de biens et de personnes sont identiques dans les deux cas de figure qui sont comparés : mêmes nombres de personnes se déplaçant d'un point à un autre, mêmes tonnages de marchandises à transporter sur les mêmes liaisons. Cependant, certains automobilistes peuvent être amenés à emprunter des itinéraires différents selon le cas ; ou alors, certains matériaux qui sont acheminés par la route (ou une combinaison modale rail-route) dans un cas peuvent l'être par le train de bout-en-bout dans l'autre cas. Cela se traduit par des consommations énergétiques différentes : ce sont ces écarts qui sont évalués. Cette dernière évaluation mesure donc l'impact du seul programme d'infrastructures de transport retenu et présenté dans la présente étude d'impact. Elle correspond à la différence entre les deux premières évaluations.

La consommation énergétique d'un véhicule de transport (voiture individuelle, poids lourd routier, convoi ferroviaire) dépend notamment de la distance qu'il parcourt, de son type de motorisation et de l'efficacité de celle-ci. Dans la mesure où le parc de véhicules de transport est d'ores et déjà mixte et que cette mixité va s'accentuer, il est difficile d'évaluer les consommations énergétiques au moyen de plusieurs unités : litres de gazole, kilogrammes de gaz naturel pour véhicules, kilowatts-heures (kWh) d'électricité. On recourt donc à une unité commune qui est la tonne d'équivalent pétrole (Tep). Cette unité est présentée ci-après (cf. Chapitre 12.5.2 du présent volume).

L'évaluation des consommations énergétiques est établie sur l'ensemble de la période couvrant les aménagements préalables du projet global Cigéo jusqu'à son démantèlement, envisagé ici en 2171 pour les besoins des calculs. Il est donc nécessaire de disposer d'une vision prospective à long terme de la composition du parc de véhicules de transport selon la source d'énergie et en matière de consommations unitaires. Dans ce domaine, plusieurs scénarios ont été élaborés dans le cadre de la stratégie nationale bas-carbone 2019 (SNBC) (21), qui a été présentée en débat public début 2019. On applique ici les prescriptions de 2019 du ministère chargé des transports (instruction du gouvernement du 16 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transports (211) :

- les calculs de base doivent être conduits en utilisant le scénario avec mesures supplémentaires (dit « AMS ») scénario principal de la SNBC ; les hypothèses associées permettent d'atteindre l'objectif politique d'une neutralité carbone à l'horizon 2050, et de diminuer les consommations d'énergie de manière importante, en particulier dans le secteur des transports ;
- un test de sensibilité doit être effectué à partir du scénario avec mesures existantes (AME), qualifié de tendanciel ; dans ce scénario, la transition écologique du secteur des transports est plus lente.

Concernant la déviation de la route départementale D60/960, dont le tracé n'est pas arrêté, les calculs conduits correspondent aux moyennes des calculs pour les trois options de tracé.

12.5.2 Notion de tonne d'équivalent-pétrole

L'Insee donne la définition suivante de la tonne d'équivalent pétrole (212) :

« La tonne d'équivalent pétrole (Tep) représente la quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole brut, soit 41,868 gigajoules. Cette unité est utilisée pour exprimer dans une unité commune la valeur énergétique des diverses sources d'énergie. Selon les conventions internationales, une tonne d'équivalent pétrole équivaut par exemple à 1 616 kg de houille, 1 069 m³ de gaz d'Algérie ou 954 kg d'essence moteur. »

Pour les évaluations des consommations énergétiques établies pour l'exploitation des infrastructures de transport du projet global Cigéo, les valeurs suivantes ont été utilisées :

Tableau 12-4 Équivalences énergétiques exprimées en tonnes d'équivalent pétrole (Tep)

Énergie ou vecteur	Quantité	Tep
Essences	1 m³ = 1 000 litres	0,786
Gazole (diesel)	1 m³ = 1 000 litres	0,845
Gaz naturel véhicule (GNV)	1 tonne = 1 000 kg	1,100
Électricité (d'origine nucléaire)	1 Mwh	0,2606

12.5.3 Consommations unitaires des véhicules de transport

Les consommations des véhicules routiers (voitures particulières et poids lourds) et celles des trains de fret sont présentées successivement.

12.5.3.1 Consommations unitaires des véhicules routiers

Les consommations énergétiques unitaires des véhicules sont différentes dans les deux scénarios élaborés au titre de la stratégie nationale bas carbone 2019 (SNBC) (21) :

- le scénario AMS (avec mesures supplémentaires) ;
- le scénario AME (avec mesures existantes).

12.5.3.1.1 Scénario AMS (avec mesures supplémentaires)

Dans ce scénario, les évolutions des consommations unitaires des véhicules routiers sont les suivantes :

Tableau 12-5 Consommations unitaires des véhicules routiers - Scénario avec mesures supplémentaires

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Voiture particulière essence (L/100 km)	7,4	5,3	3,4	2,0
Voiture particulière diesel (L/100 km)	6,2	4,8	3,3	2,0
Voiture particulière électrique (kWh/100 km)	17,8	16,3	13,5	12,5
Poids lourd diesel (L/100 km)	33,9	29,4	21,0	20,0
Poids lourd gaz naturel véhicule (kg/100 km)	27,0	22,4	15,1	14,2
Poids lourd électrique (kWh/100 km)	197	168	126	118

Source : « Cadrage du scénario de référence », fiche-outil, DGITM, mai 2019 (213)

Les évolutions de la composition des parcs roulants routiers sont les suivantes :

Tableau 12-6 Composition du parc roulant – voitures particulières - Scénario avec mesures supplémentaires

Type de véhicule	2015	2030	2050	2070
Thermique	100 %	76 %	5 %	0 %
Dont diesel	75 %	41 %	2 %	0 %
Dont essence	25 %	35 %	3 %	0 %
Véhicule électrique	0 %	16 %	94 %	100 %
Véhicule hybride rechargeable	0 %	8 %	1 %	0 %
Dont diesel	0 %	4 %	0,5 %	0 %
Dont essence	0 %	4 %	0,5 %	0 %
Total	**100 %**	**100 %**	**100 %**	**100 %**

Tableau 12-7 Composition du parc roulant – poids lourds - Scénario avec mesures supplémentaires

Type de véhicule	2015	2030	2050	2070
Diesel	100 %	86 %	24 %	10 %
Gaz naturel véhicule (GNV)	0 %	12 %	51 %	60 %
Électrique	0 %	2 %	25 %	30 %
Total	100 %	100 %	100 %	100 %

Source : « Cadrage du scénario de référence », fiche-outil, DGITM, mai 2019 (213)

12.5.3.1.2 Scénario AME (avec mesures existantes)

Dans ce scénario, les évolutions des consommations unitaires des véhicules routiers sont les suivantes :

Tableau 12-8 Consommations unitaires des véhicules routiers - Scénario avec mesures existantes

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Voiture particulière essence (L/100 km)	7,4	6,1	5,5	3,4
Voiture particulière diesel (L/100 km)	6,2	5,3	4,8	3,3
Voiture particulière électrique (kWh/100 km)	17,8	17,1	16,2	13,5
Poids lourd diesel (L/100 km)	33,9	31,4	27	21
Poids lourd gaz naturel véhicule (kg/100 km)	-	-	-	-
Poids lourd électrique (kWh/100 km)	-	-	-	-

Source : « Cadrage du scénario de référence », fiche-outil, DGITM, mai 2019 (213)

Les évolutions de la composition des parcs roulants routiers sont les suivantes :

Tableau 12-9 Composition du parc roulant – voitures particulières - Scénario avec mesures existantes

Type de véhicule	2015	2030	2050	2070
Thermique	100 %	88 %	69 %	5 %
Dont diesel	75 %	64 %	51 %	2 %
Dont essence	25 %	24 %	18 %	3 %
Véhicule électrique	0 %	9 %	29 %	94 %
Véhicule hybride rechargeable	0 %	3 %	2 %	1 %
Dont diesel	0 %	2 %	1 %	0,5 %
Dont essence	0 %	1 %	1 %	0,5 %
Total	100 %	100 %	100 %	100 %

Tableau 12-10 Composition du parc roulant – poids lourds - Scénario avec mesures existantes

Type de véhicule	2015	2030	2050	2070
Diesel	100 %	100 %	100 %	100 %
Gaz naturel véhicule (GNV)	0 %	0 %	0 %	0 %
Electrique	0 %	0 %	0 %	0 %
Total	100 %	100 %	100 %	100 %

Source : « Cadrage du scénario de référence », fiche-outil, DGITM, mai 2019 (213)

12.5.3.2 Consommations unitaires des trains

Pour les trains de fret, on retient une traction diesel, quel que soit l'horizon. En 2015, la consommation unitaire est de 4,58 litres de gazole par kilomètre. Au-delà, cette consommation unitaire évolue dans le temps comme celle des poids lourds diesel.

Tableau 12-11 Consommations unitaires des trains de fret, selon le scénario (AMS/AME)

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Train de fret (L/km) – AMS (avec mesures supplémentaires)	4,58	3,97	2,84	2,70
Train de fret (L/km) – AME (avec mesures existantes)	4,58	4,24	3,65	2,84

12.6 Méthodologie pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité

12.6.1 Méthodologie appliquée pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances

12.6.1.1 Coûts collectifs des pollutions et nuisances analysés

Parmi l'ensemble des coûts intégrés au bilan socioéconomique monétarisé (ou bilan coûts-avantages) d'un projet de transport, les coûts collectifs des pollutions et nuisances pris en compte sont les suivants :

- la pollution atmosphérique ;
- les émissions de gaz à effet de serre ;
- le bruit ;
- la sécurité des transports (accidents) ;
- la congestion routière.

En France, ce sont les coûts collectifs des pollutions et nuisances des projets de transport, ou coûts externes, pour lesquels on dispose à ce jour de méthodes de monétarisation.

12.6.1.2 Évaluations conduites

Trois évaluations des coûts collectifs des pollutions et nuisances ont été conduites, chaque fois en différentiel entre deux situations. Ces trois évaluations sont similaires à celles conduites pour les consommations énergétiques (cf. Ci-avant le chapitre 12.5.1 du présent volume).

De même, ces évaluations ont été conduites pour les deux scénarios de la stratégie nationale bas-carbone 2019 :

- en base, le scénario AMS (avec mesures supplémentaires) ;
- en test de sensibilité, le scénario AME (avec mesures existantes).

Les résultats des évaluations sont exprimés en euros constants de 2018 et présentés en sommes actualisées à l'année 2019.

Concernant la déviation de la route départementale D60/960 dont le tracé n'est pas arrêté, les calculs conduits correspondent aux moyennes des calculs pour les trois options de tracé.

12.6.1.3 Coûts unitaires retenus

Les coûts unitaires appliqués sont indiqués dans le tableau présenté ci-avant (cf. Ci-avant le chapitre 12.6.1.3 du présent volume).

12.6.2 Méthodologie appliquée pour le bilan coûts-avantages pour la collectivité

12.6.2.1 Principes généraux

Le bilan socioéconomique monétarisé (ou bilan coûts-avantages) d'un projet vise à évaluer l'opportunité de celui-ci pour la collectivité en monétarisant les avantages qu'il apporte, puis en les rapportant à ses coûts, au premier desquels le coût d'investissement initial. Ce bilan prend en compte l'ensemble des acteurs, publics ou privés, qui sont affectés directement ou indirectement par le projet. Le bilan est établi en différentiel entre, d'une part, la situation dans laquelle le projet est réalisé et, d'autre part, la situation envisageable si le projet n'est pas réalisé.

Pour les infrastructures de transport du projet global Cigéo, le bilan prend en compte :

- les effets monétaires sur l'économie (effets marchands) : ici les coûts des travaux des aménagements ferroviaires (mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de la création de l'installation terminale embranchée), de la liaison intersites et de la déviation de la route départementale D60/960, le coût du carburant consommé par les véhicules routiers, etc. ;
- les effets non marchands : les gains ou pertes de temps des automobilistes, la variation du nombre de victimes d'accidents de la route ou encore les externalités environnementales (émissions de gaz à effet de serre, bruit émis par les véhicules routiers et les trains, etc.), auxquels des dispositions officielles attribuent une valorisation monétaire appelée « valeur de référence » ou « valeur tutélaire ».

Le présent bilan est réalisé en conformité avec l'instruction du gouvernement du 16 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport (211), le Référentiel méthodologique pour l'évaluation des projets de transport (214) et les fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019 (213) , élaborés par la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM).

Il est établi pour le seul programme d'infrastructures de transport du projet global Cigéo. À ce titre, ce bilan est mené en différentiel entre les deux situations suivantes :

- l'option de projet, qui correspond au projet global Cigéo intégrant les infrastructures de transport retenues dans la présente étude d'impact ;
- et l'option de référence, qui correspond au projet global Cigéo dans lequel on réutilise autant que faire se peut les infrastructures de transport existantes.

Ainsi, dans les deux options comparées, le centre de stockage Cigéo est réputé réalisé. L'option de projet et l'option de référence sont donc basées sur les mêmes volumes de personnes qui se déplacent et de marchandises qui sont transportées. En revanche, la mise en service des infrastructures de transport prévues en option de projet peut modifier l'organisation des déplacements associés (itinéraire emprunté, mode de transport employé, etc.). Cela concerne les déplacements effectués à l'intérieur du territoire situé à proximité du centre de stockage Cigéo, mais également les échanges entre le centre de stockage Cigéo et le reste de la France.

12.6.2.2 Coûts d'infrastructures pris en compte

Le coût de l'investissement initial porte sur les quatre infrastructures de transport du centre de stockage Cigéo, quel qu'en soit le maître d'ouvrage. Il prend en compte les études, les mesures environnementales, les éventuelles acquisitions foncières, les travaux et le contrôle de la réalisation de ceux-ci.

Après la mise en service de chacune des quatre infrastructures de transport, des coûts récurrents de fonctionnement sont considérés sur toute la durée de vie des infrastructures. Les montants peuvent varier d'une année sur l'autre. Ces coûts de fonctionnement concernent les postes suivants :

- le coût d'entretien courant (par exemple le coût de fauchage des accotements) et le coût d'exploitation (par exemple le coût d'alimentation énergétique du convoyeur) ;
- le coût d'entretien périodique de l'infrastructure, dit aussi « coût de renouvellement », « coût de régénération » ou « coût de jouvence » : il s'agit du coût des grosses réparations et de renouvellement des immobilisations (par exemple le coût de remplacement du ballast ou de réfection de la couche de roulement d'une route).

Enfin le cas échéant, les coûts de démantèlement des infrastructures de transport, en fin de période de fonctionnement du centre de stockage Cigéo sont pris en compte.

Le tableau ci-dessous synthétise ces différents coûts pour les deux options comparées.

Tableau 12-12 Coûts d'infrastructures hors taxe du volet « infrastructures de transports » du projet global Cigéo, en option de référence et en option de projet (en millions d'euros de 2018)

Poste de coût	Option de référence (en M d'€)	Option de projet (en M d'€)
Coût d'investissement initial	116,2	264,8
Coût d'entretien courant et d'exploitation	41,0	129,0
Coût de renouvellement (jouvence)	21,0	201,8
Coût du démantèlement	4,5	11,2

12.6.2.3 Données de trafic

Durant la phase de fonctionnement des infrastructures de transport, l'essentiel des avantages que ces dernières procurent et des coûts associés qu'elles nécessitent sont directement fonctions des volumes et des caractéristiques des trafics qu'elles supportent. Ainsi, le nombre de véhicules pour la route, le nombre de trains pour le ferroviaire, la vitesse de circulation des véhicules, leurs types d'énergie et leurs consommations unitaires conditionnent le temps passé en circulation chaque jour et au total sur l'année, les quantités d'énergie consommées sur les mêmes périodes, les coûts de réparation et d'amortissement des véhicules, les coûts d'entretien de l'infrastructure, etc. Par ailleurs, la mise en service d'une infrastructure de transport impacte généralement la circulation sur les autres infrastructures de transport qui lui sont complémentaires ou « concurrentes ».

Il est donc nécessaire d'évaluer, année par année, les trafics affectés par la mise en service des infrastructures de transport du projet global Cigéo. À cette fin, les éléments suivants ont été exploités :

- les estimations prévisionnelles des flux reçus par train au niveau de la zone descenderie (matériaux de construction, conteneurs de stockage, colis de déchets radioactifs) en option de projet ;

- les estimations prévisionnelles des trafics routiers de la liaison intersites en entrée de la zone puits, établies par l'Andra ;
- les résultats du modèle de trafic routier développé par le Cerema (cf. Chapitre 12.3 du présent volume).

12.6.2.4 Principales valeurs unitaires utilisées dans le bilan

Les principales valeurs unitaires socioéconomiques utilisées pour la conduite des calculs du présent bilan coûts-avantages sont présentées ci-dessous. Il s'agit des données suivantes :

- les coûts d'exploitation kilométriques des voitures et des poids lourds, en distinguant les taxes ; ces valeurs diffèrent selon le scénario retenu, celui avec mesures supplémentaires ou celui avec mesures existantes ;
- les facteurs d'émission des carburants en grammes d'équivalent CO_2 par kilomètre ; ces valeurs diffèrent selon le scénario retenu, celui avec mesures supplémentaires ou celui avec mesures existantes ;
- les valeurs tutélaires évoquées plus haut, ainsi que les règles de leur évolution dans le temps.

12.6.2.4.1 Coûts d'exploitation kilométriques des véhicules routiers (scénario AMS)

Pour le scénario AMS (avec mesures supplémentaires), les évolutions des prix des carburants, de la composition du parc automobile et de la fiscalité reprennent les hypothèses de ce scénario de la stratégie nationale bas-carbone. Ces hypothèses ont été prolongées pour couvrir également la période 2050-2070. Les projections relatives à l'évolution des prix du pétrole proviennent de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

Les coûts de circulation associés, et présentés ici, sont des coûts agrégés pour un véhicule standard. Ils sont exprimés en euros constants. Les projections sont présentées jusqu'en 2070.

Tableau 12-13 Prix des carburants et de l'électricité hors toutes taxes (HTT), en euros de 2015 – Scénario avec mesures supplémentaires

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	0,51	0,95	0,90	0,90
Diesel (€/L)	0,48	0,90	0,94	0,94
Gaz naturel véhicule (€/kg)	0,71	0,98	2,02	2,02
Électricité (€/kWh)	0,10	0,12	0,15	0,15

Tableau 12-14 Montant des taxes sur les carburants et sur l'électricité, en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	0,63	1,02	0,75	0,75
Diesel (€/L)	0,48	1,09	0,76	0,76
Gazole professionnel (€/L)	0,43	0,43	0,77	0,77
Gaz naturel véhicule (€/kg)	0,04	0,06	0,28	0,28
Électricité (€/MWh)	22,5	22,5	42,5	42,5

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Tableau 12-15 TVA sur les prix des carburants et de l'électricité, en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	0,23	0,39	0,33	0,33
Diesel (€/L)	0,19	0,4	0,34	0,34
Gazole professionnel (€/L)	0	0	0	0
Gaz naturel véhicule professionnel (€/kg)	0	0	0	0
Électricité (€/kWh)	0,02	0,03	0,04	0,04

Tableau 12-16 Prix des carburants et de l'électricité toutes taxes comprises (TTC), en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	1,37	2,36	1,98	1,98
Diesel (€/L)	1,15	2,39	2,04	2,04
Gazole professionnel (€/L)	0,91	1,33	1,71	1,71
Gaz naturel véhicule professionnel (€/kg)	0,75	1,04	2,3	2,3
Électricité (€/kWh)	0,14	0,17	0,23	0,23

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Les évolutions des consommations unitaires des véhicules routiers (voitures et poids lourds) et les évolutions de la composition des parcs roulants routiers, dans le scénario AMS (avec mesures supplémentaires) ont été présentées ci-avant.

Les dépenses énergétiques unitaires des véhicules routiers qui en résultent sont les suivantes :

Tableau 12-17 Dépenses énergétiques HTT par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Parc moyen de voiture particulière (€/100 km)	3,2	4,2	2,1	1,9
Parc moyen de poids lourd (€/100 km)	16,3	25,8	25,0	24,4

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Tableau 12-18 Dépenses énergétiques TTC par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures supplémentaires

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Parc moyen de voiture particulière (€/100 km)	7,9	10,5	3,4	2,9
Parc moyen de poids lourd (€/100 km)	30,8	37,0	33,7	31,2

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Enfin, les coûts d'entretien, de consommables (hors carburant) et de dépréciation des véhicules routiers sont les suivants :

Tableau 12-19 Hypothèses de prix moyens d'entretien, de consommables et de dépréciation par km des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures supplémentaires

Véhicule (unité)	Véhicule léger (TTC)	Poids lourd (HT)
Entretien courant, pneumatiques, lubrifiants	0,109	0,099
Dépréciation du véhicule	0,013	-

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Pour les véhicules légers, ces prix unitaires sont supposés croître de +1 % par an jusqu'en 2050 (croissance géométrique) ; ils sont réputés constants par la suite. Pour les poids lourds, ce prix unitaire est supposé constant.

12.6.2.4.2 Coûts d'exploitation kilométriques des véhicules routiers (scénario AME)

Pour le scénario AME (avec mesures existantes), les évolutions des prix des carburants, de la composition du parc automobile et de la fiscalité reprennent les hypothèses de ce scénario de la stratégie nationale bas-carbone. Ces hypothèses ont été prolongées pour couvrir également la période 2050-2070. Les projections relatives à l'évolution des prix du pétrole proviennent de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

Tableau 12-20 Prix des carburants hors toutes taxes (HTT[49]), en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	0,51	0,98	1,14	1,14
Diesel (€/L)	0,48	0,93	1,07	1,07
Gaz naturel véhicule (€/kg)	0,71	0,98	2,02	2,02
Électricité (€/kWh)	0,10	0,12	0,15	0,15

[49] À noter que « HT » signifie hors taxe sur la valeur ajoutée (TVA), tandis que « HTT » signifie non seulement hors TVA mais également hors taxe spécifique, par exemple : Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques (TICPE).

Tableau 12-21 Montant des taxes sur les carburants, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	0,63	0,80	0,80	0,80
Diesel (€/L)	0,48	0,73	0,73	0,73
Gazole professionnel (€/L)	0,43	0,43	0,43	0,43
Gaz naturel véhicule (€/kg)	0,04	0,06	0,28	0,28
Électricité (€/MWh)	22,5	22,5	22,5	22,5

Tableau 12-22 TVA sur les prix des carburants, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	0,23	0,36	0,39	0,39
Diesel (€/L)	0,19	0,33	0,36	0,36
Gazole professionnel (€/L)	0	0	0	0
Gaz naturel véhicule (€/kg)	0	0	0	0
Électricité (€/kWh)	0,02	0,03	0,03	0,03

Tableau 12-23 Prix des carburants toutes taxes comprises (TTC), en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes

Carburant	2015	2030	2050	2070
Essence (€/L)	1,37	2,14	2,33	2,33
Diesel (€/L)	1,15	1,99	2,16	2,16
Gazole professionnel (€/L)	0,91	1,36	1,50	1,50
Gaz naturel véhicule (€/kg)	0,75	1,04	2,3	2,3
Électricité (€/kWh)	0,14	0,17	0,20	0,20

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Les évolutions des consommations unitaires des véhicules routiers (voitures et poids lourds) et les évolutions de la composition des parcs roulants routiers, dans le scénario AMS (avec mesures supplémentaires) ont été présentées ci-avant.

Les dépenses énergétiques unitaires des véhicules routiers qui en résultent sont les suivantes :

Tableau 12-24 Dépenses énergétiques HTT par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Parc moyen de voiture particulière (€/100 km)	3,2	4,9	4,6	2,1
Parc moyen de poids lourd (€/100 km)	16,3	29,2	28,9	22,5

Tableau 12-25 Dépenses énergétiques TTC par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Parc moyen de voiture particulière (€/100 km)	7,9	10,5	8,8	3,0
Parc moyen de poids lourd (€/100 km)	30,8	42,7	40,5	31,5

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Enfin, les coûts d'entretien, de consommables (hors carburant) et de dépréciation des véhicules routiers sont les suivants :

Tableau 12-26 Hypothèses de prix moyens d'entretien, de consommables et de dépréciation par km des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes

Véhicule (unité)	Véhicule léger (TTC)	Poids lourd (HT)
Entretien courant, pneumatiques, lubrifiants	0,109	0,099
Dépréciation du véhicule	0,013	-

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Pour les véhicules légers, ces prix unitaires sont supposés croître de +1 % par an jusqu'en 2050 (croissance géométrique) ; ils sont réputés constants par la suite.

Pour les poids lourds, ce prix unitaire est supposé constant.

12.6.2.4.3 Facteurs d'émissions unitaires de gaz à effet de serre des véhicules routiers (scénario AMS)

Pour le scénario AMS (avec mesures supplémentaires), le tableau ci-après indique les facteurs d'émissions unitaires de gaz à effet de serre des voitures d'une part et des poids lourds d'autre part.

Ces facteurs sont établis hors « effets amont », c'est-à-dire hors émissions liées au raffinage et au transport des carburants.

Tableau 12-27 Facteurs d'émission des carburants en grammes d'équivalent CO_2 par kilomètre, hors effets amont – Scénario avec mesures supplémentaires

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Parc moyen de voiture particulière (g/km)	157	94	0	0
Parc moyen de poids lourd (g/km)	844	653	0	0

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Dans ce scénario, à compter de 2050, les véhicules routiers en circulation n'émettent plus de carbone. Dès lors, à ces horizons, pour le transport de marchandises par exemple, le report modal de la route vers le train ne se traduit plus par un avantage pour la collectivité en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

12.6.2.4.4 Facteurs d'émissions unitaires de gaz à effet de serre des véhicules routiers (scénario AME)

Pour le scénario AME (avec mesures existantes), le tableau ci-après indique les facteurs d'émissions unitaires de gaz à effet de serre des voitures d'une part et des poids lourds d'autre part. Ces facteurs sont établis hors « effets amont », c'est-à-dire hors émissions liées au raffinage et au transport des carburants.

Tableau 12-28 Facteurs d'émission des carburants en grammes d'équivalent CO^2 par kilomètre, hors effets amont – Scénario avec mesures existantes

Véhicule (unité)	2015	2030	2050	2070
Parc moyen de voiture particulière (g/km)	157,2	120,9	87,2	0
Parc moyen de poids lourd (g/km)	844	782	672	0

Source : « Cadrage du scénario de référence », Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, DGITM (213)

Dans ce scénario, à compter de 2070, les véhicules routiers en circulation n'émettent plus de carbone.

12.6.2.4.5 Principales valeurs tutélaires

Le tableau ci-après présente les principales valeurs tutélaires utilisées dans le calcul coûts-avantages pour évaluer les infrastructures de transport du projet global Cigéo, ainsi que les règles d'évolution dans le temps de ces valeurs.

Tableau 12-29 Valeurs tutélaires utilisées dans le calcul de la rentabilité socioéconomique des infrastructures de transport du projet global Cigéo

Grandeur valorisée	Valeur tutélaires en €$_{2015}$	Évolution dans le temps
Personne tuée dans un accident (en 2015)	3 200 000	Comme le PIB par habitant
Personne blessée et hospitalisée (en 2015)	400 000	
Personne blessée et non hospitalisée (en 2015)	16 000	
Tonne de CO_2 (en 2018)	53	Linéairement jusqu'en 2030
Tonne de CO_2 (en 2030)	246	Linéairement jusqu'en 2040
Tonne de CO_2 (en 2040)	491	+4 % par an jusqu'en 2060, puis constante au-delà
Pollution d'une voiture sur 100 km en milieu interurbain (en 2015)	0,8	Comme le PIB, croisé à une diminution des émissions unitaires
Pollution d'un poids lourd sur 100 km en milieu interurbain (en 2015)	4,4	
Pollution d'un train de fret diesel sur 100 km en milieu interurbain (en 2015)	3,0	
Coût marginal du bruit d'une voiture sur 1 000 km sur une route départementale en milieu rural (en 2015)	0,13	Comme le PIB
Coût marginal du bruit d'un poids lourd sur 1 000 km sur une route départementale en milieu rural (en 2015)	0,90	
Coût marginal du bruit d'un train de fret sur 1 km, de jour avec un trafic peu dense (en 2015)	0,07	
Valeur du temps d'une personne se déplaçant en voiture à moins de 20 km en milieu interurbain, tous motifs de déplacement (par heure, en 2015)	8,40	Comme 0,7 fois le PIB par habitant
Valeur du temps d'une personne se déplaçant en voiture à 80 km en milieu interurbain, tous motifs de déplacement (par heure, en 2015)	14,10	

Source : « Valeurs de référence prescrites pour le calcul socioéconomique », fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport de 2019, du ministère de la Transition écologique et Solidaire (213)

Pour la congestion routière, on retient les coûts suivants pour les véhicules circulant en rase campagne : 1,30 euros de 2018 pour 100 kilomètres, en 2010, pour une voiture particulière et 3,76 euros pour un poids lourd. Ces coûts évoluent dans le temps comme la valeur du temps (voir le tableau ci-dessus).

12.6.2.5 L'actualisation

L'actualisation est la méthode utilisée pour ramener à une date commune des flux monétaires ou monétarisées qui s'échelonnent dans le temps (le flux d'une année est positif si les avantages de l'année sont supérieurs aux coûts de l'année, le flux est négatif si les coûts sont supérieurs aux avantages). La méthode repose sur deux aspects : d'une part, un échéancier année par année des flux monétaires ou monétarisés et, d'autre part, un taux d'actualisation.

Le taux d'actualisation traduit notamment la préférence pure pour le présent, c'est-à-dire pour un bien-être immédiat par rapport à un bien-être futur de même intensité. Il traduit également l'incertitude sur le futur.

Dans les calculs, le taux d'actualisation est appliqué comme une sorte de taux d'intérêt (selon la formule des « intérêts composés » bancaires). Par exemple, avec un taux d'actualisation égal à 4 %, un gain de 100 € attendu dans dix ans équivaut seulement à un gain de 68 € environ qui intervient aujourd'hui (car $100/[1+4\ \%]^{10} = 100/1{,}04^{10} \approx 100/1{,}48 \approx 68$)[50]. Si le taux d'actualisation est de 5 %, ce même gain de 100 € dans dix ans correspond à 61 € aujourd'hui. Ainsi, plus le taux d'actualisation est élevé, plus faible est la valeur actualisée à aujourd'hui d'un gain ou d'un coût futur. Le taux d'actualisation appliqué est de 4 %, en conformité avec les prescriptions de la fiche-outil de la DGITM intitulée « Prise en compte des risques dans l'analyse monétarisée » (213). L'année commune, à laquelle tous les coûts et avantages sont actualisés, est ici conventionnellement l'année 2019, année de lancement des calculs de bilan socioéconomique.

Cependant, dans le cadre de l'évaluation socioéconomique du projet global Cigéo, une analyse a été conduite pour adapter le taux d'actualisation aux spécificités du projet inscrit dans le temps long. Ainsi, trois bornes de taux d'actualisation ont été déterminées pour les flux de génie civil : il s'agit des taux d'actualisation dit « haut », « intermédiaire » et « bas » :

- taux d'actualisation « haut » : 5,5 % entre 2019 et 2070 ; 2,4 % entre 2070 et 2170 ;
- taux d'actualisation « intermédiaire » : 3,45 % entre 2019 et 2070 ; 1,5 % entre 2070 et 2170 ;
- taux d'actualisation « bas » : 2,1 % entre 2019 et 2070 ; 0,3 % entre 2070 et 2170.

12.6.2.6 Les indicateurs socioéconomiques

À l'issue du calcul socioéconomique, les indicateurs suivants sont produits :

- la valeur actualisée nette socioéconomique (VAN-SE) : correspond à la somme des coûts et des avantages actualisés sur la durée de l'évaluation. Cet indicateur reflète le bénéfice global actualisé du projet pour la collectivité. Un projet dont la VAN-SE est positive est un projet utile à la collectivité ;
- la valeur actualisée nette socioéconomique par euro investi : c'est le rapport entre la VAN-SE et le montant hors taxe actualisé de l'investissement[51]. Cet indicateur exprime l'effet de levier de l'investissement sur l'économie. Plus sa valeur est élevée, plus l'investissement est bénéfique pour la collectivité.

Le taux de rentabilité interne socioéconomique (TRI-SE) : correspond au taux d'actualisation qui annule la VAN-SE. Les premières années, les flux annuels monétarisés sont négatifs, car ils correspondent aux dépenses de l'investissement initial. Après la mise en service, les avantages annuels nets deviennent en principe positifs car les avantages apportés par le projet sont supérieurs aux coûts d'exploitation et d'entretien courants et périodiques. Le taux de rentabilité interne exprime cet équilibre entre les coûts d'investissement et les avantages socioéconomiques ultérieurs.

[50] $1{,}04^{10} = 1{,}04 \times 1{,}04 \times \ldots \times 1{,}04$ (dix fois).

[51] Par convention, l'investissement retenu ici couvre l'investissement initial, les coûts de renouvellement et de démantèlement.

13

Cadre de vie – Méthodes

13.1 Environnement sonore 252
13.2 Environnement vibratoire 254
13.3 Environnement lumineux 255
13.4 Environnement olfactif 256
13.5 Champs électriques et magnétiques 256

13.1 Environnement sonore

13.1.1 Réglementation

D'un point de vue analyse, le projet global Cigéo peut être divisé en plusieurs opérations :

- le centre de stockage, pour lequel on distingue deux zones principales : zone descenderie (ZD) et zone puits (ZP) ;
- l'installation terminale embranchée ferroviaire pour raccorder le centre de stockage au réseau ferré national (ITE) ;
- la ligne ferroviaire SNCF 027000, entre Tronville-en-Barrois et Gondrecourt-le-Château ;
- le poste de transformation électrique 400/90 Kv pour le raccordement et l'alimentation électrique des installations (RTE) ;
- la déviation routière créée pour le contournement des installations prévues (déviation route départementale D60/960) ;
- la liaison intersites (LIS) ;
- les installations nécessaires pour le raccordement et l'alimentation en eau des installations (adduction d'eau).

Chacune de ces opérations n'est pas soumise aux mêmes exigences réglementaires d'un point de vue acoustique. De plus, pour une même opération, les exigences applicables sont différentes en construction et en d'exploitation.

Le détail des réglementations et recommandations acoustiques applicables et sur quelles opérations elles s'appliquent est apporté en annexe 9 du présent volume.

13.1.2 État initial

13.1.2.1 Plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE)

Les plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) ont été consultés : le PPBE de la Meuse (approuvé le 31 octobre 2019) (215) et le PPBE de la Haute-Marne (approuvé le 31 août 2019) (216).

13.1.2.2 Campagnes de mesures

Plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées afin de caractériser l'ambiance sonore de l'aire d'étude immédiate.

Les mesures ont été réalisées conformément à la norme NF S31-010 de 1996 (217) « Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement » sans déroger à aucune de ses dispositions. La méthode utilisée est la méthode dite « d'expertise ».

Les sonomètres intégrateurs ainsi que la source étalon font l'objet de contrôles périodiques dans un laboratoire agréé conformément à l'arrêté du 27 octobre 1989 relatif à la construction et au contrôle des sonomètres (218).

Avant et après chaque série de mesurage, chaque chaîne de mesure a été calibrée à l'aide d'un calibreur de classe 1, conforme à la norme NF EN IEC 60-942 de 2018 (219).

13.1.2.2.1 En limite de propriété et au niveau des zones à émergence réglementée

Des mesures de bruit ont été réalisées en mars 2015, juillet 2015 et février 2017 par Socotec (220-222) et Venatech en 2016 (223) afin de caractériser les niveaux sonores ambiants (niveau sonore équivalent LAeq[52]) :

- en limite de propriété (termes réglementaires vis-à-vis de la réglementation ICPE ; ici la limite de propriété correspond à la zone d'intervention potentielle pour le centre de stockage Cigéo) ;
- ainsi qu'au niveau des zones à émergence réglementées[53] constituées des habitations et des établissements recevant du public implantées sur les communes de Saudron, Bure, Gillaumé, Mandres-en-Barrois, Ribeaucourt, Cirfontaines-en-Ornois, Luméville, Horville-en-Ornois et Gondrecourt-le-Château).

Les mesures ont été effectuées à l'aide de sonomètres intégrateurs, sur des durées de 24 heures, en distinguant la période diurne (7 h - 22 h) et la période nocturne (22 h - 7 h).

13.1.2.2.2 Le long de l'ITE

En 2016, une étude spécifique des niveaux sonores a été réalisée par Acouphen au niveau de la zone d'influence de la future installation terminale embranchée (ITE).

Pour ce faire, six mesures de bruit de type points fixes (PF) sur 24 heures et six mesures de bruit de type points mobiles (PM) sur une heure ont été effectuées entre le 7 et le 8 juin 2016.

Les mesures acoustiques sont basées sur la méthodologie du LAeq court. Cette méthode consiste à mesurer et stocker sur support numérique des échantillons LAeq (1s) pendant l'intervalle de mesurage. Cette méthode permet ainsi de reconstituer l'évolution temporelle d'un environnement sonore, d'identifier des sources de bruit particulières à partir de leur signature acoustique et d'en déduire leur contribution sur un des deux intervalles de références réglementaires (6 h-22 h et 22 h-6 h).

Les résultats des mesures réalisées pour caractériser l'ambiance sonore actuelle de l'aire d'étude immédiate sont par ailleurs complétés par les résultats des mesures réalisées, spécifiquement au niveau de la ferme du Cité et de l'hôtel restaurant du Bindeuil, dans le cadre du suivi règlementaire du laboratoire (hors projet). En effet, le niveau sonore global engendré par le Laboratoire souterrain a fait l'objet d'un suivi régulier depuis 1999 par l'Andra à la ferme du Cité, qui était la zone à émergence réglementée (ZER) la plus proche. Depuis 2014, suite à l'installation de l'hôtel restaurant du Bindeuil, ce nouveau point de mesure en ZER a été pris en compte. Les dernières mesures datent de 2019.

Aucune modification de nature à remettre en cause les mesures acoustiques réalisées n'est à noter dans l'aire d'étude immédiate, à la date de réalisation de la présente étude d'impact.

13.1.3 Incidences

Un recensement des sources d'émissions sonores a été réalisé pour chacune des opérations du projet global Cigéo. Suite à l'identification des sources, des modélisations acoustiques ont été réalisées pour chacune des phases du projet.

Pour évaluer les incidences, les modélisations acoustiques ont été réalisées à partir des caractéristiques des différentes sources de bruit :

- modélisations pour les différentes sources de bruit du projet global Cigéo (hors ligne 027000) sur la base des études préliminaires par la société Venatech (225) en juillet 2021. Il s'agit d'une actualisation de l'étude

---

[52] Le niveau sonore équivalent LAeq d'un bruit variable est égal au niveau d'un bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit perçu pendant la même période. Il représente l'énergie acoustique moyenne perçue pendant la durée d'observation. C'est la donnée qui caractérise le mieux un bruit fluctuant dans le temps, par exemple le bruit de la circulation automobile ou ferroviaire.

[53] Zone à émergence réglementée (ZER) : d'après l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (224) sont constituées :
- de l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers, existant à la date de l'arrêté d'autorisation de l'installation et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin ou terrasse) ;
- des zones constructibles définies par des documents d'urbanisme opposables aux tiers et publiés à la date de l'arrêté d'autorisation ;
- de l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers qui ont été implantés après la date de l'arrêté d'autorisation, dans les zones constructibles définies ci-dessus et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin ou terrasse), à l'exclusion de celles des immeubles implantés dans les zones destinées à recevoir des activités artisanales ou industrielles.

réalisée dans le cadre du dossier de déclaration d'utilité publique, prenant en compte les évolutions du projet global Cigéo (trafics, sources sonores, etc.) ;

- calcul acoustique simplifié pour la ligne 027000.

L'objectif est d'analyser les incidences de chaque opération au regard des seuils réglementaires et de l'évolution du niveau sonore en comparaison avec l'état initial. Les habitations sont classées au regard de l'ambiance sonore future estimée (calme, assez calme, courante, modérée à bruyante). Des mesures de réduction sont mises en œuvre en cas de dépassement.

Les modélisations réalisées et présentées dans la présente étude d'impact seront actualisées lors des étapes de conception ultérieures du projet global Cigéo et présentées dans les versions actualisées de la présente étude d'impact.

13.1.3.1 Choix des scénarii étudiés

Les différentes opérations ne seront pas toutes construites sur le même laps de temps. De plus, certaines opérations pourront être en exploitation alors que d'autres ne sont pas encore achevées. Ces différences d'évolution entre les opérations vont créer des impacts acoustiques différents selon les différentes phases du projet. Dans ce contexte, il a été choisi d'étudier les trois phases (ou scénarii) :

- projet global Cigéo en phase d'aménagements préalables :
  - ✓ le centre de stockage en lui-même en phase de travaux d'aménagements préalables incluant la LIS en phase de construction ;
  - ✓ LIS en construction ;
  - ✓ ITE en construction ;
  - ✓ RTE en construction ;
  - ✓ déviation route départementale D960 en construction ;
  - ✓ travaux de réhabilitation sur le ligne ferroviaire 027000 ;
- projet global Cigéo en phase de construction initiale :
  - ✓ le centre de stockage en lui-même en phase de construction Initiale incluant l'INB en construction initiale, l'ITE en exploitation et la Liaison Intersites en exploitation ;
  - ✓ RTE en exploitation ;
  - ✓ déviation route départementale D960 en exploitation ;
  - ✓ ligne ferroviaire 027000 en exploitation ;
- projet global Cigéo en phase de fonctionnement :
  - ✓ le centre de stockage en lui-même en phase de fonctionnement incluant l'INB en fonctionnement. L'ITE en exploitation et Liaison intersites en exploitation ;
  - ✓ RTE en exploitation ;
  - ✓ déviation route départementale D960 en exploitation ;
  - ✓ ligne ferroviaire 027000 en exploitation.

L'opération « adduction d'eau » présentant trop peu de données à ce stade de l'étude et n'étant pas considérée comme une opération à enjeu acoustique fort, elle n'a pas été considérée dans les modélisations acoustiques.

Les trois *scénarii* définis permettent d'analyser l'impact acoustique du projet global Cigéo dans les cas acoustiques les plus majorants.

Pour la ligne ferroviaire 027000, l'incidence acoustique de la ligne ferroviaire 027000 n'étant pas encore modélisée, un calcul acoustique de modélisation simplifiée a été réalisée sur la base du calcul de l'isophone de référence 63 dB(A) de jour et positionnée sur SIG pour évaluer les éventuels bâtiments concernés.

Les hypothèses prises en compte pour ce calcul acoustique simplifié sur relatif à la ligne ferroviaire 027000 concernent les éléments suivants : le type de convois, le nombre de trains par jour et la nature des aménagements réalisés sur la voie (armement de la voie notamment).

Le tableau ci-dessous présente les types de convois pris en compte. :

Tableau 13-1 Type de convois et émissions unitaires estimées (bruit moyen émis par un convoi sur la période de jour (6 h-22 h))

Type de convois	Émission unitaire estimée Lw
Orano TN-Q70 (Cigéo)	55,7 dB(A)
Orano TN-Q76 (Cigéo)	55,7 dB(A)
Train tombereau (Travaux)	65,3 dB(A)
Train silo (Travaux)	65 dB(A)
Train plat (Travaux)	63,2 dB(A)
Céréaliers VIVECIA (autre)	62,2 dB(A)

13.1.3.2 Logiciel utilisé

Afin de réaliser l'étude d'impact acoustique, une modélisation 3D du projet global a été réalisée à l'aide du logiciel CADNAA de DATAKUSTIK.

Le logiciel CADNAA permet le calcul de la propagation sonore en milieu extérieur par une méthode de tirs de rayons.

Il permet de modéliser différentes sources de bruits (ponctuelles, surfaciques et linéiques).

La méthode de calcul implémentée dans le logiciel est conforme aux dernières normes de calcul en vigueur (ISO 9613-1, 9613-2, NMPB 08, NMPB-Fer 08...) et tiennent compte notamment :

- de la topographie du terrain ;
- de la présence d'obstacles (bâtiments, écrans, etc.) ;
- des conditions météorologiques.

13.1.3.3 Hypothèses de modélisation des sources sonores

La modélisation sous le logiciel d'acoustique environnementale CADNAA a été réalisée en tenant compte de différents paramètres :

- implantation des bâtiments concernés par les nuisances (issue de la couche BATI de la BD_TOPO de l'IGN) ;
- topographie (issue de la couche MNT_50m de la BD_TOPO de l'IGN) ;
- végétation (issue de la couche VEGETATION de la BD_TOPO de l'IGN) ;
- conditions météorologiques en vent portant ;
- la puissance acoustique des différentes sources potentielles de bruit ;
- les méthodes de calcul de propagation sonore environnementale suivantes :
  - ✓ ISO 9613-1 de 1993 et ISO 9613-2 de 1996 pour les sources de bruit de type industriel (226, 227) ;
  - ✓ NMPB 08 de 2009 pour les bruits de trafic routier (228);
  - ✓ NMPB-Fer 08 pour les bruits de trafic ferroviaire.

Paramètres généraux de calcul :

- température de 10 °C (cas conservateur) ;
- absorption au sol : 0,50 (milieu rural) ;
- nombre de réflexions successives : 2 ;
- réflexion sur bâtiment : aW = 0,10 ;

- hygrométrie de 70 % ;
- cartographie acoustique : maillage de 10 m x 10 m, à une hauteur de deux mètres du sol.

Afin de simuler l'impact acoustique au niveau des zones à émergence réglementée (ZER) situées autour du projet global Cigéo, des points récepteurs ont été modélisés, pour chaque zone, au niveau du bâtiment le plus proche du projet.

Pour les ZER du projet global Cigéo, les points récepteurs sont placés à deux mètres en façade des habitations, à une hauteur de 1,70 mètre par rapport au sol. Pour certaines zones d'habitation, en fonction de l'opération étudiée, l'impact acoustique maximal n'est pas toujours situé sur la même façade du bâtiment. Pour ces cas, des points de réception ont été installés sur plusieurs façades du même bâtiment et le niveau sonore maximum estimé est retenu dans les calculs.

Pour les zones descenderie et puits du centre de stockage, l'analyse est réalisée au niveau des premières ZER ainsi qu'en limite de clôture de l'établissement (exigences des réglementations ICPE et INB).

13.1.3.4 Niveau sonore limité de certaines zones de chantier

Les modélisations acoustiques prennent pour hypothèse que chaque chantier respecte le niveau sonore maximum mesuré à 10 mètres de celui-ci inscrit dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13-2 Niveau sonore des chantiers

Chantier concerné	Niveau sonore maximum à respecter à 10 mètres du chantier
Bâtiment nucléaire de surface EP2	52,0 dBA
SS3	60,0 dBA
Stock pile	40,0 dBA
Centrale à béton	57,0 dBA
Centrale mortier (descenderie de service)	62,0 dBA
Centrale mortier (descenderie colis)	62,0 dBA
Concasseur voussoir	65,0 dBA
Ouvrages liés à la descenderie de service (DS) : tympan attaque DS, chargeur/pelle, usine ventilation DS, TAR chantier DS	70,0 dBA
Ouvrages liés à la descenderie colis (DC) : tympan attaque DC, chargeur/pelle, ventilation travaux DC, TAR chantier DC	66,0 dBA
Chargeur : D-SS4-ITC-18	58,0 dBA
Chargeur : D-SS4-ITC-30	58,0 dBA

Ces seuils ont été définis afin d'obtenir la conformité réglementaire du projet global Cigéo.

13.2 Environnement vibratoire

13.2.1 Réglementation

Les vibrations produites par les activités du projet global Cigéo pourront potentiellement être issues des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) présentes dans son périmètre, que ce soit en phase chantier ou en phase exploitation (pour celles susceptibles d'émettre des vibrations en fonctionnement). Pour ces installations, le texte réglementaire applicable est la circulaire n° 86-23 du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour l'environnement (ICPE) (229). Ce texte précise, d'une part, les moyens et méthodes qui permettent l'évaluation des effets des vibrations mécaniques transmises dans l'environnement par ces installations et, d'autre part, les normes et valeurs limites qui permettent d'éviter les gênes ressenties par les personnes ou les dommages subis par les constructions.

Par ailleurs, les vibrations produites par les activités du projet global Cigéo pourront potentiellement être issues des tirs de mines effectués dans le cadre de la réalisation des installations souterraines ou du trafic ferroviaire lié au transport des colis de déchets et au transport de matériaux :

- pour les tirs de mines effectués dans le cadre de la réalisation des installations souterraines, bien que le projet ne comprenne pas la création de carrière, il est proposé de retenir les valeurs limites figurant dans l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières (230), considérant que cette activité est similaire aux tirs de mines effectués en carrière ;
- pour les vibrations issues du trafic ferroviaire, seuls s'appliquent le code de l'environnement et le droit des tiers imposant la prise en compte des nuisances vibratoires, sans indication de valeur limite, ni de méthode d'évaluation des effets.

La circulaire n° 86-23 du 23 juillet 1986 (229) et l'arrêté du 22 septembre 1994 cités ci-avant (230), ainsi que les travaux de Chapot, 1981 (231), les recommandations de l'AFTES (232), les recommandations du GFEE (Groupe français de l'énergie explosive), le guide du Setra (102) et la norme NF ISO 2631-2 de 2014 (233) ont permis de fixer des valeurs limites. Ces valeurs limites sont utilisées afin d'évaluer l'impact des vibrations générées par les activités du projet global Cigéo sur les constructions et les riverains.

L'arrêté du 22 septembre 1994 (230) relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières indique une valeur limite fixée à 10 $mm.s^{-1}$ pour évaluer l'impact des vibrations associées aux tirs d'explosifs.

Le risque potentiel pour les structures peut apparaître à partir de 2 $mm.s^{-1}$, pour les sources de vibrations continues ou assimilées, et à partir de 4 $mm.s^{-1}$, pour les sources de vibrations impulsionnelles. Ces seuils sont les plus pénalisants de la circulaire n° 86-23 du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour l'environnement (ICPE) (229). Ils correspondant aux seuils de dommage aux structures associés aux constructions très sensibles.

L'évaluation de l'impact sur les humains est réalisée par comparaison avec le seuil de perception des vibrations fixé à 0,10 $mm.s^{-1}$ selon la norme NF ISO 2631-2 de 2014 (233).

13.2.2 État initial

Les installations sources de vibrations ont été recherchées dans l'aire d'étude immédiate autour du centre de stockage Cigéo.

Des mesures vibratoires ont été réalisées en juillet 2015 (234) au niveau de la zone descenderie (aucune habitation n'étant présente à proximité directe de la zone descenderie) afin de définir l'état initial vibratoire avant construction des installations du centre de stockage Cigéo, en prenant comme référence la circulaire n° 86-23 du 23 juillet 1986 « relative aux bruits mécaniques émis dans l'environnement par les ICPE » (229).

Les paramètres mesurés étaient :

- la valeur efficace de l'accélération pour des ondes entre 2,5 Hz et 1 kHz ;

- la vitesse particulaire pour des ondes entre 1,25 Hz et 315 Hz.

Les mesures ont été réalisées durant 24 heures.

Parallèlement, des mesures ponctuelles de courte durée ont été réalisées à différents moments de la journée afin de valider les mesures longues durées.

Aucune modification de nature à remettre en cause les mesures de vibration réalisées en 2015 n'est à noter dans l'aire d'étude immédiate, à la date de réalisation de la présente étude d'impact.

Des mesures de vibrations complémentaires seront effectuées lors de la poursuite des études relatives au centre de stockage, mais également à la ligne ferroviaire 027000. Elles seront présentées dans les versions actualisées de la présente étude d'impact, présentant notamment les caractéristiques de la ligne ferroviaire 027000 définies à l'issue de la concertation avec le public.

13.2.3 Incidences

Afin de prévoir les vibrations générées par le projet global Cigéo, différentes méthodes de calculs sont utilisées en fonction des sources :

- pour les vibrations liées au tirs d'explosifs, la méthode Chapot ;
- pour les vibrations liées aux passages de train, la méthode développée sur la base des travaux de Sheng *et al.*, 2005 (235).

13.2.3.1 Vibrations liées aux tirs à l'explosif : méthode de « Chapot »

L'impact des vibrations générées lors de tirs de creusement de puits, a été évalué à l'aide de l'équation de Chapot, 1981 (231). Celle-ci permet d'évaluer la vitesse particulaire maximale V_{max} en $mm.s^{-1}$ à une distance donnée (point récepteur) comme suit :

$$Vmax = K(\frac{D}{Q^{0.5}})^{-1.8}$$

Le tableau suivant présente les paramètres pris en compte pour le calcul.

Tableau 13-3 Définitions des paramètres d'entrée pour l'équation de Chapot

K	Facteur fonction de la réponse sismique du site et de la surface de dégagement du tir	3 000
D	Distance entre le point de tir et le récepteur (en m)	Au cas par cas
Q	Charge instantanée (en kg)	12

Détermination de la charge instantanée « Q »

La valeur sur laquelle la cadence de creusement a été établie est de 7 kg. Afin de tenir compte des incertitudes qui seront levées par l'établissement d'un plan de tir, celle-ci a été portée à 12 kg.

Définition du facteur de réponse sismique K

Des études menées lors de la construction du CMHM pour les vibrations liées aux tirs d'explosifs conduisent, pour les tirs en souterrains, à un facteur K compris entre 3 000 et 4 500.

13.2.3.2 Vibrations liées aux convois ferroviaires circulant sur l'ITE

Une modélisation numérique spécifique développée par Ingérop sur la base des travaux de Sheng *et al.,* 2005 (235) est mise en œuvre afin d'estimer les niveaux vibratoires générés par le passage de convois ferroviaires. Ce modèle a été validé expérimentalement et rentre dans la catégorie des solutions algébriques et des modèles détaillés pour la conception, tels que décrits dans la norme ISO 14837-1 de 2005 (236).

Cette méthode est appliquée pour les passages de convois ferroviaires en phase d'exploitation.

Ce modèle prend en compte :

- le train, considéré avec ressorts et amortissements ;
- la voie, soit sur ballast, soit sur dalle ;
- le sol, constitué de plusieurs couches.

Seuls les dix premiers mètres de sol présents sous la voie ferrée de surface sont nécessaires pour la réalisation du calcul.

Ce modèle permet de tenir compte des deux principales sources de vibration :

- le poids du train se déplaçant le long de la voie ;
- la rugosité du contact roue-rail liée aux aspérités de ces deux éléments.

Le convoi retenu se compose de 10 wagons et de deux locomotives. Le poids d'un wagon est estimé à 180 t.

La vitesse maximale de circulation sur l'ITE est fixée à 30 $km.h^{-1}$.

Le profil de rugosité utilisé est l'« *European mean* +6 dB » qui correspond à une moyenne européenne, augmentée de 6 dB. Cette augmentation de 6 dB revient à considérer un profil de rail deux fois plus rugueux que la moyenne.

Les niveaux vibratoires générés par le passage du train sont calculés de la voie jusqu'à une distance de 40 mètres puis extrapolés à la distance souhaitée et ainsi comparés aux normes en vigueur.

13.3 Environnement lumineux

13.3.1 Réglementation

En application des lois Grenelle I et II (2009/2010) (237) et de la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (2016) (238), le ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) a publié en 2018 un arrêté ministériel visant à réduire le phénomène des nuisances lumineuses : il s'agit de l'arrêté sur la prévention, la réduction et la limitation des nuisances lumineuses du 27 décembre 2018 (239). Cet arrêté vise à restreindre ces impacts en définissant des prescriptions temporelles et techniques appliquées à plusieurs types d'installations d'éclairage :

- l'éclairage extérieur : sécurité et confort des usagers sur l'espace public ou privé (voirie, cheminements piétons et modes actifs, etc.) ;
- mise en lumière du patrimoine, du cadre bâti, des parcs et des jardins (publics ou privés, accessibles au public ou appartenant à des entreprises, bailleurs sociaux ou copropriétés) ;
- équipements sportifs (plein air ou découvrables) ;
- bâtiments non résidentiels : illumination des bâtiments et éclairage intérieur émis vers l'extérieur (locaux à usage professionnels, culturels, de loisirs, administratifs, commerces, etc.) ;
- parcs de stationnement (non couverts ou semi-couverts) ;
- évènementiel extérieur temporaire (festival, défilé, marchés et illuminations de Noël…) ;
- chantiers en extérieur.

Pour chaque catégorie d'installation d'éclairage, l'arrêté définit :

- des conditions temporelles pour trois moments d'allumage et d'extinction de l'éclairage : allumage en fin de journée, extinction (de nuit), et allumage au matin ;
- les prescriptions techniques des luminaires à respecter en fonction de leurs catégories d'usage ;
- les contrôles de conformité associés aux prescriptions de l'arrêté ;
- des prescriptions spécifiques des sites astronomiques et des zones à enjeu de biodiversité.

13.3.2 État initial

La détermination de l'état initial pour les nuisances lumineuses a été réalisée à partir des données 2020 de la suite de radiomètres pour imageurs dans l'infrarouge et le visible (en anglais : *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*, VIIRS) (240). Il s'agit d'un système de capteurs embarqué sur des satellites météorologiques DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*), permettant de collecter des images et des mesures radiométriques de la Terre dans toutes les bandes du visible et de l'infrarouge.

L'imagerie visible et infrarouge des instruments DMSP *Operational Linescan System* (OLS) comprend des images mondiales à basse résolution et régionales à haute résolution, enregistrées le long d'un balayage de 3 000 km. Un pixel de télescope mesure 0,55 km en haute résolution (mode fin) et 2,7 km en basse résolution (mode lisse). Les valeurs de basse résolution sont la moyenne des 25 valeurs de haute résolution appropriées. Ces données sont disponibles sur le site internet[54].

13.3.3 Incidences

Un recensement des sources d'émissions lumineuses a été réalisé.

Des mesures d'évitement et de réduction ont été mises en place afin de limiter les émissions lumineuses.

L'analyse des incidences résiduelles a été réalisée à dire d'experts sur la base d'un recensement des sources d'émissions lumineuses et de leur puissance. Des mesures d'évitement et de réduction ont été mises en place afin de limiter la gêne engendrée par ces émissions lumineuses. L'incidence résiduelle est analysée sur la base d'une cartographie représentant l'évolution des surfaces éclairées et des intensités de flux lumineux cumulés entre l'état initial et le niveau d'éclairement maximum du centre de stockage Cigéo en phase de fonctionnement.

13.4 Environnement olfactif

13.4.1 Réglementation

Les odeurs produites par les activités du projet global Cigéo pourront potentiellement provenir de l'INB, des ICPE ou des déchets produits par le projet. Pour ces installations, les textes applicables sont :

- l'article 4.1 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (203). Cet arrêté impose la maitrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement et notamment des odeurs ;
- l'article 20 de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (107). Cet arrêté impose que les dispositions nécessaires soient prises pour limiter les odeurs provenant du traitement des effluents ;
- l'article 45 de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (107). Cet arrêté impose à ce que les déchets et résidus produits soient stockés, avant leur revalorisation ou leur élimination, dans des conditions ne présentant pas de risques de pollution (prévention d'un lessivage par les eaux météoriques, d'une pollution des eaux superficielles et souterraines, des envols et des odeurs) pour les populations avoisinantes et l'environnement.

13.4.2 État initial

La détermination de l'état initial pour les nuisances olfactives a été réalisé à partir de visite de terrain, qui ont permis de constater l'absence de nuisance olfactive particulière.

13.4.3 Incidences

Un recensement des sources d'émissions d'odeur a été réalisé. Ces émissions sont communes.

Des mesures d'évitement et de réduction ont été mises en place afin de respecter les exigences réglementaires.

La détermination des incidences résiduelles a été réalisée à dire d'expert sur la base d'un recensement des sources d'émissions d'odeurs. Des mesures d'évitement et de réduction ont été mises en place afin de limiter la gêne engendrée par ces émissions d'odeur.

13.5 Champs électriques et magnétiques

13.5.1 Réglementation

Pour prévenir les éventuels effets liés à une exposition à des champs électromagnétiques trop intenses, des valeurs limites d'exposition ont été définies par la réglementation française. Ces valeurs limites d'exposition du public sont basées sur une recommandation de l'Union européenne et sur les lignes directrices de la Commission internationale de protection contre les radiations non ionisantes (ICNIRP) publiées en 1999.

Les caractéristiques des ouvrages électriques sont déterminées par RTE. En 2008, RTE a signé une convention avec l'association des maires de France, par laquelle RTE s'engage à répondre à toute demande d'information sur les champs électromagnétiques (CEM) émis par ses ouvrages. Cette convention permet notamment à tout maire de solliciter des mesures de CEM sur le périmètre de sa commune. Dans ce cas les mesures sont effectuées par des laboratoires indépendants et accrédités. Sur simple demande du maire, elles sont prises en charge financièrement par RTE. Une carte de mesures de champs magnétiques est ainsi mise à disposition par RTE recensant les mesures réalisées dans le cadre de cette convention. Elle est disponible sur le site internet[55].

13.5.2 État initial

La ligne électrique aérienne à haute tension 400 kV Houdreville-Méry a fait l'objet de cinq mesures sur les communes de Chavanges, Gondrecourt-le-Château, Harmonville, Isle Aubigny et Ramerupt.

13.5.3 Incidences

Les champs électriques et magnétiques sont générés par les installations de basse fréquence (50 Hz) utilisées pour l'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo. Les valeurs moyennes de ces champs mesurées sur d'autres installations souterraines ou aériennes sont prises comme référence (conception similaire) pour l'évaluation de l'exposition humaine. Elles sont comparées aux recommandations édictées par la commission européenne.

Les incidences des champs électromagnétiques sont évaluées au regard des valeurs limites d'exposition du public fixées par la réglementation française et basées sur une recommandation de l'Union européenne et sur les lignes directrices de la Commission internationale de protection contre les radiations non ionisantes (ICNIRP) publiées en 1999.

[54] https://www.lightpollutionmap.info

[55] https://www.clefdeschamps.info/carte-de-mesures/.

14

Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs - Méthodes

14.1	Paysage	258
14.2	Patrimoine culturel	265
14.3	Activités de loisirs, de plein air et tourisme	265

14.1 Paysage

14.1.1 État initial du paysage

L'état initial du paysage est décrit grâce à un recueil des données mis à disposition par les organismes de référence (DREAL, directions départementales des territoires, communautés de communes et communes), complété par des analyses documentaires et des prospections de terrain réalisées sur site.

Ce recueil a donc été effectué à plusieurs échelles :

- à l'échelle régionale et départementale avec les unités paysagères identifiées dans le cadre d'inventaires départementaux des référentiels et d'atlas des paysages ;
- à l'échelle des intercommunalités et communes avec les sous-unités paysagères identifiées dans le cadre de volets paysagers de documents d'urbanisme publiés ;
- à une échelle plus locale, suite aux observations de terrain effectuées.

Tel que précisé au chapitre 1.2.2.6 du présent volume, les aires d'étude retenues pour décrire l'état initial du paysage sont :

- l'aire d'étude éloignée, afin de recenser les unités de paysage dans lesquelles s'implante le projet global Cigéo ;
- l'aire d'étude rapprochée, au sein de laquelle sont décrites ces unités paysagères. La description des sous-unités paysagères et l'analyse paysagère sont réalisées à l'échelle de cette aire d'étude rapprochée et permettent d'appréhender plus finement le territoire et ses composantes paysagères.

14.1.1.1 Définitions des unités paysagères – le contexte paysager

L'objectif est de définir le paysage dans lequel s'inscrit le projet global Cigéo pour identifier les principaux enjeux du territoire concerné. En particulier, sont définies les unités de paysage dans lesquelles se situe l'aire d'étude éloignée.

14.1.1.1.1 Un outil de référence : l'atlas des paysages

Les atlas des paysages ont été mis en place dans le cadre de l'application de la loi paysage du 8 janvier 1993 (241) et de la loi Barnier du 2 février 1995 (242). Ces « inventaires départementaux des paysages » sont des documents de référence publics. Ce sont des outils de sensibilisation et de porter à connaissance auprès des décideurs et des acteurs de l'aménagement. Ce sont également des outils de communication auprès du grand public. Suivant les départements, leur élaboration a donné lieu à un partenariat entre la DREAL (anciennement DIREN) et les conseils généraux.

Qu'est-ce que l'atlas des paysages ?

L'atlas des paysages établit une délimitation typologique des paysages.

La notion « d'unité de paysage » correspond à un ensemble d'espaces qui présentent un caractère d'homogénéité dans la composition et l'organisation des structures du paysage. Cette cohérence est souvent confortée par une unité visuelle, ainsi que par l'homogénéité des ambiances ressenties, par les représentations sociales et le vécu de ces espaces.

Une cartographie établie à une l'échelle départementale illustre l'atlas des paysages.

L'atlas décompose le territoire du département concerné en entités paysagères distinctes et inventorie les enjeux propres à chacune des unités identifiées. Il évalue la dynamique des paysages et les mutations en cours. Il permet d'assurer la prise en compte des spécificités de chaque unité paysagère et ainsi d'en garantir le maintien.

L'atlas définit également les orientations de gestion des paysages, c'est-à-dire les actions visant, dans une perspective de développement durable, à entretenir le paysage afin de guider et d'harmoniser les transformations induites par les évolutions sociales, économiques et environnementales. Par exemple : la gestion des paysages périurbains des villes moyennes françaises ou encore la gestion spécifique des territoires littoraux.

À quoi sert l'atlas des paysages ?

Un atlas est un outil de « porter à connaissance », une base de données qui oriente la réflexion paysagère, un guide qui présente le contexte paysager dans lequel s'inscrit le site d'implantation d'un projet :

- il nourrit l'approche globale du paysage pour orienter le choix du site d'implantation ; il inventorie les enjeux paysagers pour l'évaluation de la sensibilité du secteur d'implantation ;
- il permet de faire apparaître au travers des enjeux paysagers les contraintes, les potentialités et les risques liés au projet vis à vis du maintien de la qualité et de l'identité des paysages ;
- les données de l'atlas sont prises en compte à l'échelle de l'évaluation de l'état initial du site dans le volet paysager de l'étude d'impact.

L'atlas est la base d'élaboration d'actions en faveur du paysage.

En conclusion, l'atlas des paysages présente :

- les unités du paysage ;
- les structures paysagères ;
- les dynamiques et les mutations en cours ;
- les enjeux paysagers ;
- les orientations de gestion des paysages ;
- une cartographie.

14.1.1.1.2 Recensement des unités de paysage dans l'aire d'étude éloignée

En région Grand Est, trois atlas des paysages sont disponibles, mais deux seulement concernent à proprement dit le territoire du projet global Cigéo :

- « atlas des paysages de Meurthe-et-Moselle » - Conseil Général de Meurthe-et-Moselle – Agence Folléa-Gautier – Mai 2011 (243) ;
- « atlas des paysages des Vosges » - Direction Départementale des Territoires des Vosges – 2005 & révision en 2018 (244).

N'ayant aucun atlas des paysages à disposition pour les départements de la Meuse, de la Haute-Marne et de l'Aube, une recherche complémentaire de documents officiels a été effectuée, ayant pour sujet le découpage de ce territoire en unités paysagères.

Trois documents sont actuellement consultables à savoir :

- le « référentiel des paysages de Haute-Marne » - Direction Départementale des Territoires de la Haute Marne – Agence Folléa-Gautier – février 2016 (245). Ce document stratégique identifie les valeurs paysagères du département, les dynamiques à l'œuvre et les enjeux qui en découlent. Il s'agit bien d'un référentiel et non d'un atlas des paysages au sens strict : il n'a pas la prétention de couvrir l'intégralité des éléments de connaissance et de diagnostic, mais de faire émerger les principaux enjeux paysagers pour prolonger la réflexion vers des propositions d'actions et de recommandations ;
- l'« étude préalable à la définition d'une politique régionale des paysages en Lorraine » - Étude régionale sur les paysages de juillet 1995, effectuée par l'ancienne DIREN Lorraine (246) ;
- le « référentiel des paysages de l'Aube » - Direction Départementale de l'Aube – Agence Folléa-Gautier – décembre 2011 (247).

14.1.1.1.3 Description des unités de paysage concernées par l'aire d'étude rapprochée

Les unités de paysage concernées par l'aire d'étude rapprochée sont ensuite décrites afin de préparer la base de l'analyse paysagère.

Seuls deux des départements concernés par l'aire d'étude rapprochée incluent les communes d'implantation des installations de surface du projet global Cigéo (hors ligne électrique aérienne 400 kV) :

- le département de la Haute-Marne ;
- le département de la Meuse.

Sur le territoire de la Haute-Marne, le référentiel utilisé pour la description des unités paysagères est celui des paysages de la Haute-Marne (étude réalisée par l'Agence Folléa-Gautier) (245).

Sur le territoire de la Meuse, aucun atlas du paysage n'a été réalisé et aucun référentiel détaillé des paysages, tel que celui réalisé sur la Haute-Marne, n'existe à ce jour. Cependant, la présente étude peut s'appuyer sur « l'étude préalable à la définition d'une politique régionale des paysages en Lorraine » précitée. Aujourd'hui, de cette étude seule une carte est restée accessible, à savoir une carte des grands types de paysage.

Cette carte a été utilisée comme base d'autres inventaires départementaux, tels que l'atlas du paysage de Meurthe et-Moselle (243) ou encore le référentiel des paysages de la Haute-Marne (245). Elle est également employée dans le rapport de présentation du PLUi de la Communauté de communes de la Haute-Saulx (173).

14.1.1.2 Définition des sous-unités paysagères

Afin de définir les sous-unités paysagères présentes dans l'aire d'étude rapprochée, une recherche documentaire approfondie a été effectuée auprès des instances publiques locales (répertoriées dans le chapitre 15 - Planification territoriale et aménagement du territoire du présent volume).

14.1.1.2.1 Plans locaux d'urbanisme intercommunaux (PLUi)

Parmi les plans locaux d'urbanisme intercommunaux (PLUi), seul celui de la communauté de communes de la Haute-Saulx est en vigueur et comporte actuellement un volet paysager exploitable (173). Trois sous unités paysagères y sont clairement décrites et des enjeux paysagers y figurent.

La partie sud du territoire de la communauté de communes de la Haute-Saulx est localisée au sein de l'aire d'étude rapprochée. L'analyse paysagère du projet global Cigéo pourra donc s'appuyer sur l'analyse paysagère présente dans le rapport de présentation du PLUi sur ce secteur.

14.1.1.2.2 Plans locaux d'urbanisme

À l'échelle communale, les plans locaux d'urbanisme en vigueur ont également été consultés, à savoir :

- le PLU de Ligny-en-Barrois (disponible sur le Géoportail de l'urbanisme (248)) ;
- le PLU de Tronville-en-Barrois (disponible sur le Géoportail de l'urbanisme (248)) ;
- le PLU de Gondrecourt-le-Château (249) ;
- le PLU de Tréveray (disponible sur le Géoportail de l'urbanisme (248)).

Concernant le PLU de Ligny-en-Barrois, le rapport de présentation consacre quelques pages sur le contexte paysager de la commune, mais celui-ci reste succinct et ne présente pas de sous-unité paysagère. Ce que le document nomme comme des unités paysagères sont en fait des éléments paysagers qui constituent le paysage local. Sont mentionnés « les coteaux » et « la vallée de l'Ornain » ainsi que les éléments de coupures urbaines à savoir : la route départementale, le canal de la Marne au Rhin et la voie ferrée.

Concernant le PLU de Tronville-en-Barrois, le volet paysager du rapport de présentation confirme bien l'unité paysagère sur laquelle la commune est implantée (le plateau du Barrois). Le document ne décrit pas de sous-unité paysagère mais représente les entités paysagères qui la composent, à savoir une vallée cadrée par des coteaux fortement boisés qui réduisent considérablement les perspectives visuelles. Le document présente une particularité du territoire, à savoir les « côtes », qui présentent un relief ondulé et découpé. Cette spécificité du paysage de vallée doit transparaître dans l'analyse paysagère.

Concernant le PLU de Gondrecourt-le-Château, le volet paysager du rapport de présentation précise que la commune est « à la limite des pays du Barrois et de Vaucouleurs, caractérisé par un relief de cuesta et de système de plateaux, traversé par la vallée de l'Ornain ». Le document liste par la suite les éléments paysagers (ou entités paysagères) qui composent le paysage : la vallée de l'Ornain qui « coule dans une vallée bordée de coteaux boisés au milieu de prairies humides », le plateau de Gondrecourt sur la partie sud-est du territoire communal, principalement occupé par un massif boisé dense, puis les vallons agricoles, mêlant paysages de vallées et de plateau principalement au nord-ouest du territoire avec ses larges étendues dédiées à l'agriculture et à la pâture. Le document insiste également sur le fait que le territoire est parcouru et fortement impacté par les infrastructures anthropiques de transport à savoir la voie ferrée puis les routes départementales D10 et D966.

Concernant le PLU de Tréveray, le rapport de présentation présente bien un chapitre intitulé « Le paysage » mais celui-ci n'est en fait qu'une approche de l'occupation du sol du territoire (espaces urbanisés, vergers, espaces agricoles, broussailles, espaces boisés). Plus de 55 % du territoire regroupent des terres cultivées ou des prairies et près de 40 % du territoire sont boisés.

14.1.1.2.3 Cartes communales

À échelle communale, les cartes communales en vigueur ont été consultées, à savoir :

- la carte communale de Nançois-sur-Ornain ;
- la carte communale de Menaucourt ;
- la carte communale de Saint-Amand-sur-Ornain ;
- la carte communale d'Houdelaincourt ;
- la carte communale d'Abainville ;
- la carte communale de Chassey Beaupré.

Hormis la carte communale de Chassey-Beaupré (250), les documents sont disponibles sur le Géoportail de l'urbanisme (248). Le volet paysager de la carte communale de Nançois-sur-Ornain présente de manière succincte l'appartenance de la commune à la vallée de l'Ornain et les différentes unités paysagères qui sont décrites sont en fait des éléments du paysage qui les englobent : la zone urbaine, les cultures sur le plateau, les vergers sur les coteaux, les espaces boisés ainsi que les cultures et prairies dans les vallées.

Le volet paysager de la carte communale de Menaucourt présente de manière succincte l'appartenance de la commune à la vallée de l'Ornain et les différentes unités paysagères qui sont décrites sont en fait des éléments du paysage qui les englobent : la vallée de l'Ornain, le plateau cultivé et bordé de massifs forestiers, les rebords de plateaux et les coteaux boisés.

Le volet paysager de la carte communale de Saint-Armand-sur-Ornain présente de manière succincte l'appartenance de la commune à la vallée de l'Ornain et les entités paysagères qui sont décrites sont en fait des éléments du paysage : le village, la vallée de l'Ornain, le plateau ondulé et ses coteaux. La perception du territoire y est ponctuellement décrite, mais conforte les conclusions de la présente définition des sous-unités paysagères : « *un paysage varié où les vues sont souvent limitées par la présence d'un relief de talus très marqué de part et d'autre de la vallée de l'Ornain* » - « *les méandres de la rivière qui sillonnent le fond plat du lit majeur de l'Ornain créent une entité paysagère très particulière dans le territoire. On la repère par la présence d'un boisement rivulaire plus ou moins dense qui longe le cours d'eau de part et d'autre* » - « *Le village et la vallée de l'Ornain semblent comme pris en étaux par les coteaux abrupts du plateau qui les encadrent et qui créent d'importantes barrières visuelles. La forêt couvre la quasi-totalité des coteaux impraticables pour la culture. Elle forme de larges bandes sombres où la végétation hirsute et dense semble impénétrable* ».

Le volet paysager de la carte communale d'Houdelaincourt précise que la commune est « à la limite des pays du Barrois et de Vaucouleurs, caractérisé par un relief de cuesta et de système de plateaux, traversé par la vallée de l'Ornain ». Le document décrit principalement la vallée de l'Ornain occupant plus du tiers du territoire : « cette entité paysagère correspond à une plaine qui se développe au pied des cuestas des Côtes de Meuse. Le relief des vallons est arrondi sur les sommets, ce qui donne des limites visuelles très ouvertes autour de la commune…. La présence de vastes étendues vouées aux cultures céréalières et à la pâture compose une mosaïque de couleurs qui rythme le paysage » - « La cuesta où se situe le Grand Bois, à l'ouest de la commune surplombe le village et offre différents points de vue panoramiques sur toute la région ».

Le volet paysager de la carte communale d'Abainville présente de manière succincte les différentes entités paysagères présentes : le village, la vallée de l'Ornain, le plateau du Barrois ondulé (aux cultures intensives et prairies) et le bois d'Abainville. La ligne de chemin de fer apparaît « *encaissée et bordée de pins noirs… Une vaste saignée dans le paysage plutôt régulier du plateau Barrois* ». Point particulier intéressant, il est fait mention de la

« Côte Coubo » une butte boisée au nord du territoire communal, qui tranche visuellement avec les vastes surfaces cultivées environnantes.

Le volet paysager de la carte communale de Chassey Beaupré présente de manière succincte l'appartenance de la commune au plateau Barrois, au relief ondulé. Il précise la présence du ruisseau de l'Ognon qui creuse ce plateau et partage le territoire en deux entités distinctes. La partie ouest du territoire est occupée par le village, des fermes isolées et des cultures. La partie est est, quant à elle, intégralement couverte de boisements. Deux espaces naturels sensibles d'intérêts local ou régional sont présents sur le territoire communal (à l'ouest : les Étangs de Beaupré d'intérêt local ; les coteaux forestiers en vallée de l'Ognon d'intérêt régional). Au niveau paysage le rapport de présentation expose uniquement l'appartenance de la commune à un paysage varié où s'alternent boisements denses et vastes étendues cultivées et cite les entités paysagères qui le composent : le village, le plateau agricole et le plateau boisé et la vallée de l'Ognon. Le plateau agricole est décrit comme un paysage ouvert qui épouse le relief mou et ondulant du sous-sol et faisant ressortir des îlots boisés. Ce paysage contraste avec le paysage fermé du plateau boisé et la vallée de l'Ognon. La forêt forme une barrière visuelle composée par une végétation hirsute et dense qui semble impénétrable. Seule la vallée de l'Ognon offre une rupture et une respiration dans ce paysage très fermé.

Toutes les autres communes au sein de l'aire d'étude rapprochée sont soit dépourvues de PLU/POS/carte communale, soit ces derniers sont en cours d'élaboration.

Pour conclure sur les sous unités paysagères :

Les sous-unités de paysage identifiées dans le cadre de l'analyse paysagère locale sur le territoire de la communauté de communes de la Haute-Saulx ne sont pas circonscrites et peuvent finalement s'étendre sur l'ensemble de l'aire d'étude rapprochée et ses abords immédiats.

Les documents d'urbanisme consultés à échelle locale sur le reste de l'aire d'étude rapprochée confortent les sous-unités paysagères identifiées.

Cependant, quelques particularités plus marquées existent au niveau de la sous-unité « paysage de vallée semi-ouvert » pour la vallée de l'Ornain, car cette dernière est moins étendue et plus impactée par le cours d'eau plus important.

14.1.1.3 Analyse paysagère du site

14.1.1.3.1 Définition du périmètre d'étude de l'analyse paysagère

L'analyse paysagère s'appuie sur une analyse thématique dont les éléments d'appréciation sont :

- les unités de relief ;
- les unités de paysage ;
- les unités écologiques ;
- les milieux et les activités humaines ;
- les relations visuelles ;
- le patrimoine.

L'analyse paysagère doit prendre en compte les relations paysagères rapprochées comme éloignées entre les différents éléments paysagers présents au sein de l'aire d'étude rapprochée. Ces relations sont principalement visuelles.

A contrario d'une analyse purement bibliographique qui a pu être entreprise pour la définition des unités de paysage ou encore des sous-unités de paysage, l'analyse paysagère s'appuie quant à elle sur une prospection de terrain et un parcours exhaustif du territoire. De nombreuses visites de terrain ont ainsi été réalisées au cours des années, sur plusieurs saisons, avec notamment deux reportages photographiques réalisés en juillet 2017 et en février 2021.

14.1.1.3.2 Les objectifs de l'analyse paysagère

Il s'agit de repérer et d'évaluer les éléments identitaires emblématiques des lieux :

- les structures paysagères locales : le relief, la géomorphologie, l'hydrographie, les trames végétales, les trames bâties, etc. ;
- les composantes paysagères : la physionomie du couvert végétal naturel, les caractères du paysage agraire (parcellaire, haies, arbres isolés, canaux, bâti dispersé, murets...) , les réseaux et le paysage bâti (routes et chemins, formes d'urbanisation, zones d'activités, patrimoine bâti, réseaux aériens), les carrières, les décharges, les friches industrielles, etc. ;
- les relations visuelles : perceptions visuelles à l'échelle du grand paysage et à l'échelle du paysage proche.

14.1.1.3.3 Outils et transcriptions produites à l'issue de l'analyse paysagère

Les outils et transcriptions suivants ont été produits suite à l'analyse paysagère :

- une cartographie à l'échelle adaptée en fonction de l'importance du projet et de l'étendue des espaces concernés. Elle est réalisée sur fond de plan IGN. La carte de l'analyse paysagère est établie de manière à restituer les éléments identitaires du paysage : topographie, relief, géologie, géomorphologie, composantes paysagères de l'occupation des sols, éléments, structures remarquables et identitaires, etc. ;
- une note descriptive avec des tableaux synthétiques pour chacune des sous unités paysagères ;
- des illustrations : photographies repérées, vues panoramiques commentées depuis les points de vue significatifs, éventuellement photo aérienne verticale commentée, repérage cartographique des points de vue.

14.1.1.3.4 Moyens mis en œuvre pour l'analyse paysagère

Les moyens suivants ont été mis en œuvre pour réaliser l'analyse paysagère :

- un parcours du territoire autour du site et une visite du site sur le périmètre défini (notes et relevés, photographies et croquis éventuels) ;
- une analyse iconographique (photographies aériennes verticales et/ou obliques) et cartographique (carte IGN principalement) ;
- la prise en compte des données analytiques du volet « Biodiversité et milieu naturel » (cf. Chapitre 6 du présent volume) ;
- la prise en compte des autres chapitres du présent volume, tels que : chapitre 3 Sols du présent volume, chapitre 5.2.2 Eaux superficielles du présent volume, chapitre 12 Infrastructures de transports du présent volume ou encore les chapitres 14.2 Patrimoine culturel & 14.3 Activités de loisirs, de plein air et tourisme du présent volume.

Deux reportages photographiques ont été réalisés en juin 2017 et en mars 2019. Un troisième reportage photographique a été effectué en février 2021.

14.1.1.4 Synthèse de l'état initial du paysage

14.1.1.4.1 Objectifs

Il s'agit de récapituler, en les hiérarchisant, les facteurs de sensibilité déterminés à partir de l'analyse précédente ; ces facteurs de sensibilité se traduisent en termes d'enjeux paysagers.

14.1.1.4.2 Moyens

Il s'agit de la synthèse des documents d'analyse paysagère.

14.1.1.4.3 Outils et transcription

La description de l'état initial est réalisée sous deux formats :

- un tableau récapitulatif des caractéristiques par sous-unité paysagère. Ce dernier présente en conclusion les éventuels enjeux paysagers ;
- une carte de synthèse de la sensibilité du site et de ses abords : cartographie à l'échelle du 1/55 000e, sur fond de plan IGN.

14.1.2 Évaluation des incidences sur le paysage

Les impacts du projet global Cigéo sont évalués au niveau de l'aire d'étude rapprochée à partir des enjeux et caractéristiques du paysage et du patrimoine décrits et analysés dans l'état initial du volume III de la présente étude d'impact.

L'évaluation des incidences sur le paysage est effectuée par opérations d'une part (centre de stockage Cigéo et opérations des autres maîtres d'ouvrage) en détaillant les incidences par sous opérations, puis par approche visuelle (perception lointaine et perception proche). Cette évaluation intègre également l'évolution dans le temps du projet et ses différentes phases de vie.

14.1.2.1 Évaluation des incidences visuelles du projet à deux échelles

Afin de garantir une meilleure représentativité de la lecture du paysage et des incidences du projet global Cigéo sur celui-ci, l'analyse des incidences visuelles du projet est menée à deux échelles :

- **depuis le paysage lointain**, c'est-à-dire à une échelle plus générale, entre quelques kilomètres et une dizaine de kilomètres en fonction de l'accessibilité visuelle des lieux (permet de déterminer des enjeux de perception et d'insertion du projet) ;
- **depuis le paysage proche**, c'est-à-dire à une échelle présentant les interfaces directes du projet avec ses abords, de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres selon la configuration du paysage (permet d'analyser des composantes paysagères propres au site ainsi que les perceptions proches afin d'en déterminer les enjeux et de proposer des mesures d'intégration paysagère fines à l'échelle du site : abords immédiats, accès, qualification du site, etc…).

Cette approche à double échelle a pour objectif de distinguer les incidences visuelles du projet sur le grand paysage des incidences visuelles occasionnées au niveau local, au plus près de la population travaillant ou vivant sur ce territoire. Cette approche n'est pas codifiée ni réglementée, mais est le fruit d'une bonne pratique par les paysagistes intervenant sur des études d'impact. Ce type d'approche est employé dans le cadre des autorisations d'urbanisme, et notamment les déclarations préalables et les demandes de permis de construire comprenant le « projet architectural » tel que défini par le code de l'urbanisme (article L. 431-2 et article R. 431-7 du code de l'urbanisme). Le code de l'urbanisme (article R. 431-10 d) dispose : « *le projet architectural comprend également : […] Deux documents photographiques permettant de situer le terrain respectivement dans l'environnement proche et, sauf si le demandeur justifie qu'aucune photographie de loin n'est possible, dans le paysage lointain.* ».

En fonction des enjeux définis (cf. Volume III de la présente étude d'impact) les impacts du projet sur le paysage sont ensuite analysés (cf. Volume IV de la présente étude d'impact). Cette analyse s'appuie sur des outils tels que la carte de visibilités, les coupes topographiques et des photomontages réalisés aux points de vue significatifs (cf. Chapitre 14.1.2.4 du présent volume).

Face au caractère multiple des perceptions du paysage, conséquence des effets de la distance, de l'angle de vue, des conditions d'accessibilité visuelle des espaces et des représentations sociales liés aux paysages et aux objets de paysage, il est ainsi nécessaire de hiérarchiser les impacts identifiés selon que la perception du projet est éloignée ou proche. Cette étape se fait en se basant sur les niveaux de perception lointaine ou proche, qui permettent d'intégrer l'effet de la distance.

Un même point de vue peut être présenté pour montrer la variabilité des perceptions (proches ou lointaines) depuis les lieux habités et/ou fréquentés pour chacune de ces deux échelles d'analyse.

14.1.2.1.1 Effets visuels dans une perception éloignée du projet

L'analyse des effets à cette échelle permet d'analyser la concordance entre le projet global Cigéo et le grand paysage.

À cette échelle de perception lointaine, l'analyse se base sur les grandes lignes du territoire : grandes structures du paysage (vallées, coteaux), voies majeures à grande fréquentation, lieux touristiques très reconnus, patrimoine en situation d'exposition au projet, entrées de villages.

Les relations entre les structures paysagères et le projet global Cigéo sont mises en évidence. Les points de vue sont soigneusement choisis depuis les espaces fréquentés, mais à une échelle plus générale, entre quelques kilomètres et une dizaine de kilomètres en fonction de l'accessibilité visuelle des lieux.

14.1.2.1.2 Effets visuels dans ne perception proche du projet

À cette échelle de perception proche, ce sont principalement les perceptions riveraines qui importent : depuis les bourgs, les villages, les hameaux riverains du projet, les voies locales reliant un hameau à un bourg, les éléments du patrimoine architectural ou paysager, les chemins de randonnée ou les entrées de champs. Ces lieux ne sont pas massivement fréquentés, mais participent au lieu de vie des riverains, des promeneurs, des agriculteurs et agents, qui interviennent sur ce territoire.

Les effets visuels étudiés sont les fruits des interfaces directes du projet avec ses abords, de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres selon la configuration du paysage.

14.1.2.1.3 Notions de visibilité, covisibilité et intervisibilité

» VISIBILITE, COVISIBILITE, INTERVISIBILITE

Visibilité : vue de tout ou partie du projet global Cigéo depuis un lieu (élément patrimonial, site touristique, route, village, etc.).

Covisibilité : la notion de « covisibilité » désigne deux éléments projet et élément identifié comme ayant une valeur intrinsèque (exemple : site inscrit, monument historique, silhouette de village, parc éolien) mis en relation par un même regard (l'un étant visible à partir de l'autre, ou les deux pouvant être embrassés par un même regard).On parle donc de « covisibilité » lorsque le projet est au moins en partie dans les abords de l'élément particulier de paysage identifié et visible depuis lui ou en même temps que lui.

Intervisibilité : le terme d'« intervisibilité » s'applique au cas général de visibilité entre un projet et un élément particulier du paysage présentant un enjeu (habitation, routes, chemins de randonnée, lieu touristique, point de vue remarquable…). Par conséquent, la notion d'« inter-visibilité » s'applique lorsque :

- le projet est visible depuis l'élément particulier du paysage ;
- l'élément particulier du paysage est visible depuis le projet ;
- l'élément particulier du paysage et le projet sont visibles simultanément dans le même champ de vision (cet aspect de visibilité est étudié uniquement dans des cas particuliers pour des éléments patrimoniaux du paysage et depuis des points de vue remarquables).

14.1.2.2 Notion d'impact du projet sur le paysage

L'impact d'un projet sur le paysage est la qualification quantitative de la modification de l'organisation des paysages et des perceptions de celui-ci. Il peut ainsi être : positif, très faible, faible, modéré, fort ou très fort.

Le degré de l'impact dépend de :

- sa nature et son intensité : durée (temporaire/permanent, réversible/irréversible), échelles et dimensions des secteurs affectés par le projet (distance, visibilité, covisibilité, prégnance), concordance ou discordance avec les structures paysagères, rapports d'échelle et perceptions ;
- la nature du territoire existant affecté: enjeu du paysage et du patrimoine (qualité, richesses, rareté, fréquentation, reconnaissance, appropriation) et sensibilité des points de vue inventoriés.

14.1.2.3 Prise en compte de l'évolution dans le temps du projet et ses différentes phases de vie dans l'évaluation des incidences sur le paysage

L'échelle de temps utilisée pour le projet global Cigéo ne se comptabilise pas uniquement en années, mais en centaines d'années. Un paysage est en constante évolution au cours du temps, que ce soit pour des causes naturelles ou anthropiques. Cette évolution peut être plus ou moins rapide selon les facteurs de cette dernière, mais peut également être d'une grande stabilité. Il est donc primordial de prendre en compte la notion du temps lors de l'évaluation des incidences sur le paysage, la majeure partie des éléments qui le compose étant vivants et évolutifs. Un bosquet ou une haie « fraîchement » plantée n'aura pas le même effet visuellement dans quelques dizaines d'années ou dans quelques centaines d'années. Ainsi, pour illustrer les incidences potentielles du projet sur le paysage, les éventuelles mutations paysagères profondes récentes sont prises en compte (il peut s'agir par exemple de projets d'aménagement récents, des plantations conséquentes dans le paysage en accompagnement d'une nouvelle infrastructure).

De même, lors de l'évaluation des incidences après mesures (juste après plantation) ou l'évaluation des incidences résiduelles au bout de plusieurs années, le niveau d'impact du projet sur le paysage évolue en parallèle du développement des mesures paysagères de type plantations.

14.1.2.4 Méthodes et outils

Pour réaliser l'évaluation des impacts sur le paysage, plusieurs outils sont utilisés :

- la carte de visibilité ;
- les coupes topographiques ;
- les points de vue significatifs et les photomontages qui en découlent (superposition du projet avec et sans mesures d'intégration paysagères).

Ces outils sont utilisés pour construire l'argumentaire permettant de décrire le projet paysager du projet global Cigéo et ses impacts sur l'environnement paysager et patrimonial.

14.1.2.4.1 Carte de visibilité

La carte de visibilité est réalisée afin de déterminer toutes les zones depuis lesquelles les composantes du projet sont visibles, avant mise en place des mesures paysagères. La couverture végétale et divers obstacles visuels (habitations, infrastructures) viennent fermer une partie des intervisibilités théoriques possibles. De plus, seules les intervisibilités possibles depuis les espaces fréquentés par la population (habitations, voiries, zones touristiques, chemins de randonnée, etc.) sont retenues dans la poursuite de l'analyse.

Elle est réalisée à partir :

- de l'analyse morphologique du territoire : la topographie, la végétation et tout autre masque visuel (installations humaines, bâtiments, remblais, etc.) ;
- de visites de site ;
- d'analyses sur la base de reportages photographiques, à différents moments de l'année ;
- d'une maquette 3D ;
- de l'analyse de l'espace vécu (l'espace habité, parcouru, quotidien mais aussi l'espace proche intégrant une dimension subjective).

14.1.2.4.2 Coupe topographique

La coupe topographique peut être réalisée sur certains sites d'implantation du projet global Cigéo, afin de mettre en évidence le rôle prépondérant du relief dans l'évaluation des impacts, mais également le rôle de modelés paysagers qui seraient entrepris dans le cadre de mesures d'évitement, de réduction et de compensation.

La coupe est particulièrement représentative de la profondeur réelle du territoire, c'est-à-dire ce qui est effectivement perçu (vision panoramique) et ce qui ne peut être perçu (fond de vallée, coteaux). Elle permet également de rendre compte de l'échelle du relief et de la distance aux points de vue. Pour une meilleure compréhension de l'organisation du territoire étudié, la coupe se lit en parallèle des points de vue photographiques et des photomontages.

14.1.2.4.3 Choix des points de vue et photomontages

Après avoir déterminé les zones depuis lesquelles le projet sera visible, l'analyse des impacts passe par le choix de points de vue représentatifs du territoire d'accueil, c'est-à-dire ceux depuis lesquels le projet est susceptible d'être le plus visible si aucune mesure d'évitement ou de réduction n'est mise en œuvre. Les points de vue sont systématiquement positionnés depuis les espaces publics directement identifiables comme tels ou, le cas échéant, depuis des points de vue régulièrement accessibles au public. Les localisations proposées cherchent de préférence à montrer l'effet maximum de la perception du projet, ce qui peut dans certains cas expliquer un décalage de positionnement par rapport au projet. L'analyse des impacts par photomontage impose de choisir avec soin les points de vue à retenir pour les effectuer, dans une logique de représentativité des effets du projet. Les points de vue les plus pertinents en termes de perception sont sélectionnés, tout en respectant l'approche par type de perception (lointaine/proche) et la règle du « positionnement sur l'espace public/effet maximisant » énoncée précédemment.

Dans un premier temps, plusieurs prises de vue sont réalisées de manière exhaustive en favorisant autant que possible les espaces fréquentés et circulés par le public : lieux de passage majeurs, zones habitées, cœur de village, chemins de randonnée, zones d'activités économiques, monuments historiques, etc. Ils ont été déterminés grâce à un travail cartographique préalable ainsi que des visites sur le terrain. Les prises de vue implantée dans des champs de culture ou dans des bois par exemple, ne sont pas considérés comme significatifs et représentatifs. Parmi ces prises de vue, un premier tri est effectué de sorte à ne conserver que celles présentant des covisibilités/intervisibilités directes entre le point d'observation et le projet. Sont donc éliminés les prises de vue avec obstacle visuel entre le point d'observation et le projet (présence d'une haie haute, d'un boisement ou encore d'un élément topographique qui fait obstacle à la perception du projet), ne permettant pas de les exploiter pour illustrer des impacts avec l'appui de photomontages.

La figure 14-1 présente l'ensemble des points de vue ainsi sélectionnés sur le territoire englobant le centre de stockage Cigéo, à des distances proches ou éloignées des éléments de projet, avec des cônes de vue différenciés.

Dans un second temps, en se basant sur les principaux enjeux du paysage définis dans l'analyse paysagère (cf. Chapitre 14.1 du volume III de la présente étude d'impact), ainsi que sur la carte de visibilité théorique (présentée dans le chapitre 14.1 du volume IV de la présente étude d'impact), certains points de vue sont sélectionnés pour leur forte représentativité des effets potentiels du projet sur le paysage, que ce soit en perception proche ou lointaine. L'objectif n'est pas de présenter tous les points de vue présentant des impacts visuels du projet, mais d'illustrer chacun des impacts identifiés par le choix judicieux d'un ou deux points de vue. Seuls ces points de vue sont donc employés dans le chapitre IV du présent volume pour illustrer les incidences potentielles du projet sur la base de photomontages. Pour chaque point de vue, plusieurs états sont mis en parallèle :

- un état initial du site ;
- un état initial avec un repérage des éléments de projet (sous la forme d'un photomontage avec incrustation de la maquette 3D du projet au même point de vue, sans aucune mesure d'intégration paysagère). Ce visuel a l'intérêt de mettre en avant les incidences potentielles du projet sur le paysage ;
- un ou des états projetés avec intégration des mesures paysagères aux différentes phases de vie du projet (sous la forme d'un photomontage également).

Étant donné le caractère vivant de la majeure partie des mesures paysagères entreprises, la notion de temporalité a également son importance. Effectivement, des plantations qui seraient effectuées lors de la phase d'aménagements préalables ou de construction initiale n'auront pas les mêmes effets qu'en phase de fonctionnement quelques années plus tard. Le positionnement des points de vue est donc défini en recherchant un point d'impact potentiel maximal (ouverture visuelle en direction du projet) depuis une origine déterminante (axes de communication, lieux de vie et/ou patrimoine, ou lieu regroupant des effets cumulatifs ou cumulés vis-à-vis d'autres ouvrages/équipements existants dans le paysage, par exemple le parc éolien existant). Ces photomontages utilisent des photographies du territoire prises depuis des espaces vécus, réalisées lors de deux campagnes en juin 2017 (pour les zones puits, descenderie et l'ITE) et mars 2019 (pour l'ITE).

La maquette 3D des grandes lignes du projet utilisée pour réaliser ces photomontages a été réalisée sur les logiciels SketchUp (logiciel de modélisation 3D, d'animation et de cartographie orienté vers l'architecture - société

Trimble) et Revit (logiciel d'architecture édité par la société américaine Autodesk qui permet de créer un modèle en 3D d'un bâtiment pour créer divers documents nécessaires à sa construction).

Le tableau de l'Annexe 10 du présent volume présente les modalités de sélection des différents points de vue retenus dans le chapitre 14 des volumes III et IV pour illustrer des impacts du projet sur le paysage.

Pour conclure, l'évaluation des impacts permet d'analyser les mécanismes et les facteurs de transformation des espaces qui vont accueillir le projet global Cigéo. Les photomontages, effectués aux trois grandes phases du projet avant et après mesures d'évitement et de réduction, permettent d'illustrer l'évolution du paysage. Ils montrent de manière réaliste les mesures paysagères (modelés, plantations), dans un graphisme type photographie et montre les ouvrages uniquement sous la forme de volume.

Les incidences résiduelles ont ensuite été définies en prenant en compte des mesures d'insertion.

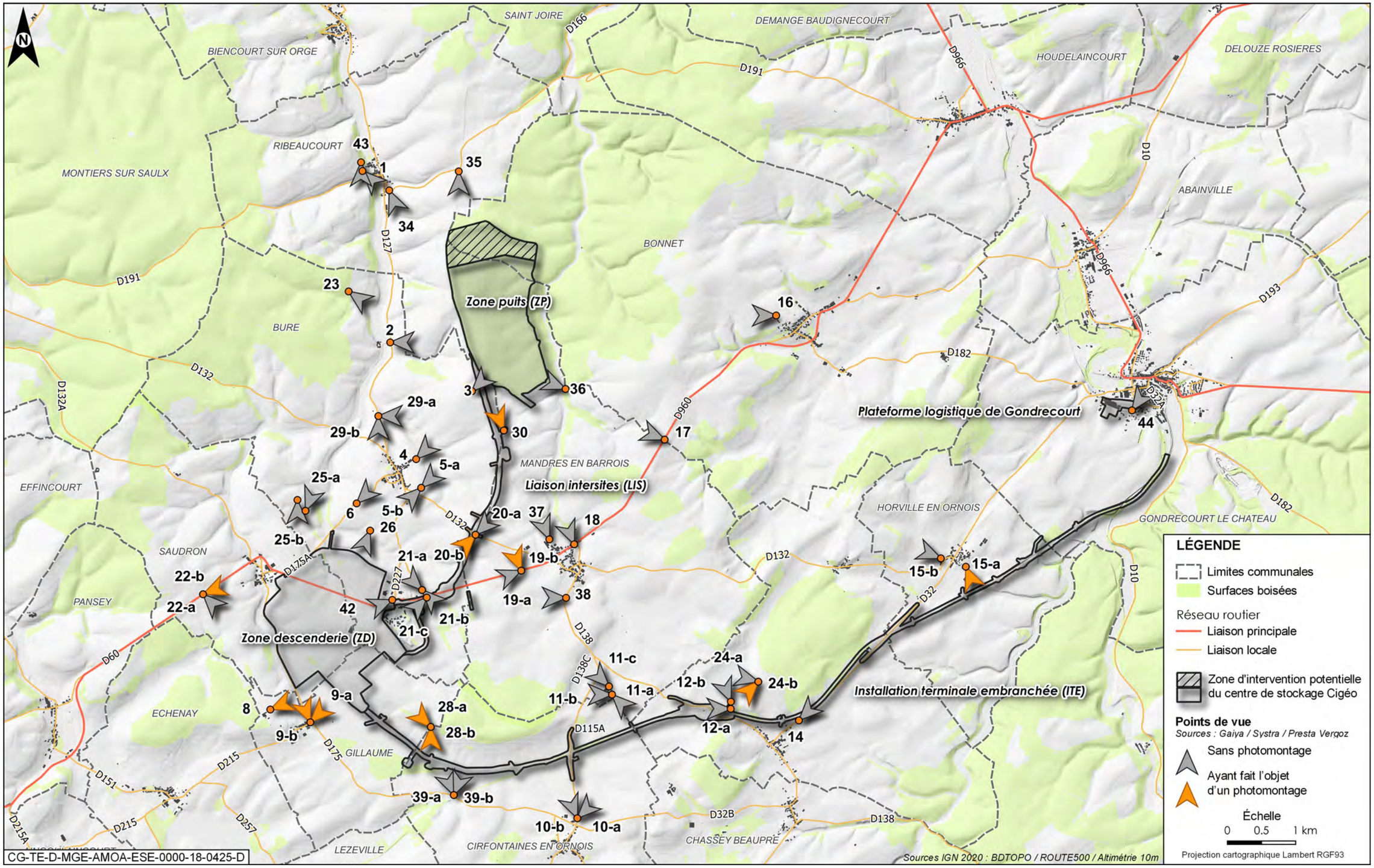


Figure 14-1 Localisation des points de vue sur le territoire englobant le centre de stockage Cigéo

14.2 Patrimoine culturel

14.2.1 État initial du patrimoine culturel

14.2.1.1 Patrimoine archéologique

Le recensement des sites et vestiges archéologiques s'est appuyé sur diverses bases de données parmi lesquelles :

- la base Mérimée (plateforme POP) qui a permis de recenser les sites archéologiques classés ou inscrits au titre des monuments historiques (251) ;
- la base de l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) qui a permis de recenser une partie les diagnostics réalisés sur l'aire d'étude[56] ;
- la carte archéologique nationale de la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC), consultée en 2014, a permis de localiser des vestiges.

La consultation des bases de données publiques a été complétée par les résultats d'un relevé Lidar (télédétection par laser), qui a permis d'identifier des indices de vestiges archéologiques.

Pour compléter ces informations, l'Andra a conduit, en 2015/2016, une campagne de diagnostics archéologiques sur la majeure partie de la future zone descenderie et une partie de l'ITE, à la limite des communes de Bure (Meuse) et de Saudron (Haute-Marne).

14.2.1.2 Sites patrimoniaux remarquables, monuments historiques et sites inscrits ou classés

La liste des sites classés/site inscrits a été définie sur consultation du site de la DREAL Grand Est et sur consultation de l'atlas du patrimoine.

Les sites patrimoniaux remarquables ont été recherchés au sein de l'atlas des patrimoines.

Le recensement des monuments historiques inscrits ou classés a été effectué à partir de la base de données Architecture-Mérimée (plateforme POP).

Les plans locaux d'urbanisme ont également été consultés pour recenser le petit patrimoine. D'autre part, afin de recenser les éléments de patrimoine remarquable non protégés (édifices ou immeubles emblématiques des particularismes patrimoniaux de la région et présentant un caractère remarquable ou de rareté, un véritable intérêt architectural), une prospection spécifique a été réalisée dans et à proximité de l'aire d'étude immédiate.

14.2.2 Incidences sur le patrimoine culturel

Les incidences du projet sur l'archéologie ont été évaluées sur la base des résultats des diagnostics archéologiques déjà effectués au niveau des zones d'intervention potentielle de la zone descenderie et d'une partie de l'ITE (hors zones de rétablissements routiers) en 2015 et 2016.

Les incidences sur le patrimoine culturel ont été définies sur la recherche :

- des intersections des opérations du projet global avec les sites classés/sites inscrits, les sites patrimoniaux remarquables et les monuments historiques et les périmètres de protection qui entourent ces derniers ;
- des covisibilités entre les opérations du projet et les monuments historiques et les sites classés/sites inscrits.

[56] Source : https://www.inrap.fr/pactols-sujet/base-de-donnees

14.3 Activités de loisirs, de plein air et tourisme

14.3.1 Recensement des activités de loisirs, de plein air et tourisme (état initial)

14.3.1.1 Activités de plein air

Les données relatives aux chemins de randonnée proviennent de la base de données de l'IGN, des sites touristiques, tels que les offices de tourisme de chaque département, et du site internet de relatif aux chemins de grande randonnée[57].

14.3.1.2 Établissements culturels, équipements sportifs et hébergements touristiques

La liste des équipements culturels, des équipements sportifs et des hébergements touristiques a été réalisée à partir des données Insee, complétées par la liste des établissements recevant du public (ERP) transmise par des DDT pour les départements de la Meuse et de la Haute-Marne.

14.3.2 Évaluation des incidences sur les activités de loisirs, de plein air et tourisme

Les incidences sur les activités de loisirs et de tourisme ont été évaluées en recherchant les intersections entre la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo et les établissements culturels, les équipements sportifs et les hébergements touristiques ou les zones d'activités de loisirs telles que les chemins de randonnée.

[57] Mon GR®

15

Planification territoriale - Méthodes

15.1 État initial de la planification territoriale et de l'aménagement du territoire 268
15.2 Incidence du projet sur l'aménagement du territoire en lien avec le développement induit de l'urbanisation 268

15.1 État initial de la planification territoriale et de l'aménagement du territoire

L'analyse repose à la fois sur la situation actuelle du territoire décrite dans les documents d'urbanisme, les orientations d'aménagement de ces mêmes documents qui encadrent la planification d'aménagement d'un territoire (SRADDET, SCoT, PLUi, PLU, POS et cartes communales) approuvés, arrêtés et en cours d'élaboration, ainsi que sur le recensement des règles d'urbanisme (emplacements réservés, espaces boisés classés, servitudes d'utilité publique). Ces documents ont été obtenus auprès des Directions départementales des territoires (DDT) de la Meuse, de la Haute-Marne et des Vosges et *via* la plateforme « Géoportail de l'urbanisme » tenue par le ministère de la Cohésion des territoires et l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) (248).

Les différents documents de planification territoriale et d'urbanisme pris en compte sont les suivants :

- documents applicables :
  - ✓ le SRADDET Grand Est, et en particulier le fascicule regroupant les règles et leurs mesures d'accompagnement, ainsi que le diagnostic et la stratégie présentés dans le rapport du SRADDET (6) ;
  - ✓ le SCoT du Pays Barrois, dont le projet d'aménagement et de développement durables (PADD) et le document d'orientations et d'objectifs (DOO) ont été analysés (5) ;
  - ✓ le PLUi de la Haute-Saulx, et en particulier les pièces graphiques relatives au zonage et aux Servitudes d'utilité publique (SUP) (173) ;
  - ✓ les PLU de Gondrecourt-le Château (249), Tréveray, Givrauval, Ligny-en-Barrois, Tronville-en-Barrois (disponibles sur le Géoportail de l'urbanisme (248)), dont les règlements et les pièces graphiques ont été analysés.
- les cartes communales d'Abainville, Houdelaincourt, Saint-Amand-sur-Ornain, Menaucourt, Nançois-sur-Ornain ;documents en cours d'élaboration ou de révision :
  - ✓ le SCoT Nord Haute-Marne, dont seuls le diagnostic territorial et l'état initial de l'environnement sont disponibles pour le moment (4) ;
  - ✓ le SCoT de Commercy- Void – Vaucouleurs non encore disponible ;
  - ✓ le PLUi Porte de Meuse - secteur Val d'Ornois, dont les projets de règlement et les éléments graphiques disponibles ont été analysés ;
  - ✓ le PLUi de la Communauté de communes du Bassin de Joinville en Champagne, non encore disponible. Toutefois les éléments graphiques concernant les servitudes et réseaux ont été analysés ;
  - ✓ et le PLU de Velaines, non encore disponible.

15.2 Incidence du projet sur l'aménagement du territoire en lien avec le développement induit de l'urbanisation

Les incidences du projet sur l'aménagement du territoire sont évaluées en analysant les différents documents de planification territoriale et d'urbanisme applicables ou en cours d'élaboration.

Une analyse spécifique de l'effet du projet sur le développement induit de l'urbanisation est menée. L'objectif de cette analyse est de déterminer les secteurs qui feront éventuellement l'objet d'une urbanisation induite par le projet (densification urbaine ou extension), au sein et en dehors des espaces identifiés par les documents d'urbanisme en vigueur.

La méthode employée pour évaluer l'effet du projet sur le développement induit de l'urbanisation est inspirée de la méthode recommandée pour les infrastructures de transport par le guide Théma « Évaluation environnementale : infrastructures de transport et urbanisation – Préconisations méthodologiques » publié en 2018 par le ministère de la Transition écologique et Solidaire (252). L'analyse est menée en deux parties :

- une première partie dédiée à l'effet des infrastructures de transport sur le développement éventuel de l'urbanisation : liaison intersites, installation terminale embranchée, rétablissements routiers, terminal fret et terminal nucléaire, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, déviation de la route départementale D60/960 ;
- une seconde partie dédiée à l'effet du centre de stockage et des autres opérations du projet global Cigéo sur le développement induit de l'urbanisation (adduction d'eau et alimentation électrique).

La méthode est constituée de quatre étapes principales :

- la définition des objectifs et enjeux de l'aménagement considéré : il s'agit d'une étape préalable permettant d'identifier les composantes ou caractéristiques du projet pouvant être des sources potentielles de développement de l'urbanisation ;
- la définition des périmètres d'influence potentielle ;
- l'appréciation du potentiel d'évolution du territoire (notamment par l'identification des zones de développement envisagées dans les documents d'urbanisme, l'appréciation de l'état de prise en compte de l'aménagement dans le plan de développement du territoire, etc.) ;
- l'identification des secteurs potentiels de développement (en se basant sur les documents d'urbanisme et en anticipant les évolutions possibles à plus long terme).

Sont considérées comme des zones pouvant faire l'objet d'un développement éventuel de l'urbanisation lié au projet global Cigéo les zones AU (à urbaniser) des documents d'urbanisme en vigueur et en projet. Néanmoins, le développement potentiel de zones urbanisées en dehors des zones identifiées par les documents d'urbanisme, s'il est pressenti, est indiqué dans l'analyse. Il est alors mentionné qu'un tel développement de l'urbanisation n'est possible qu'en cas de mise à jour favorable des documents d'urbanisme en vigueur.

Les zones à urbaniser pour lesquelles une indication de lien avec le projet global Cigéo est mentionnée sont identifiées.

L'analyse est réalisée principalement à l'échelle des aires d'étude immédiate et rapprochée. L'effet du projet sur le développement induit de l'urbanisation à l'échelle de l'aire d'étude éloignée est décrit de façon moins détaillée étant donné la difficulté de prévoir les évolutions en termes d'urbanisation à cette échelle.

16

Interactions et incidences cumulées - Méthodes

16.1 Méthode pour la caractérisation des interactions et les services écosystémiques 270
16.2 Méthode pour l'évaluation du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés 274

16.1 Méthode pour la caractérisation des interactions et les services écosystémiques

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Les services écosystémiques correspondent à l'utilisation par l'homme des fonctions de certains écosystèmes, à travers des usages et une réglementation qui encadrent cette utilisation . Il est possible de définir les services écosystémiques comme les bénéfices que les humains retirent de leur environnement.

16.1.1 Des interactions entre milieux aux services écosystémiques

Au sein d'un territoire donné, les différentes composantes environnementales sont connectées et interagissent entre elles. L'évolution d'une de ces composantes peut affecter d'autres composantes, soit de manière directe, soit indirectement par effet cascade.

Dans ce contexte, les approches intégrées, souvent interdisciplinaires sont de plus en plus courantes et s'inscrivent dans un contexte de complémentarité, de dialogue et d'échange. Parmi l'ensemble des approches intégrées visant à comprendre les interactions entre les sociétés humaines et l'environnement, l'approche par les services écosystémiques tend à se développer.

Les services écosystémiques soulignent le lien étroit entre le milieu physique et la biodiversité d'une part, et son utilisation par les sociétés humaines d'autre part. Ainsi, à chaque type d'écosystème (forestier, agricole, aquatique, urbain…) correspond des fonctions et des services différents, dont le niveau de réalisation dépend de l'état de l'écosystème, des pressions qui s'exercent sur lui, mais également de l'usage qu'en font les sociétés. L'existence d'un service écosystémique dépend donc du capital environnemental d'un territoire (*i.e. S*pécificités d'occupation des sols), des processus écologiques au sein de l'écosystème et entre les écosystèmes et de son utilisation par des pratiques sociales.

Les services écosystémiques sont regroupés en trois catégories : les services de régulation, les services d'approvisionnement (ou biens) et les services socio-culturels.

Dans le cadre du projet global Cigéo, cette approche vise à compléter l'évaluation environnementale par une analyse des enjeux sociétaux en lien avec les milieux naturels et physique potentiellement impactés par le projet. Elle apporte des éléments complémentaires au reste de l'étude d'impact pour une prise en compte plus complète de la biodiversité par une évaluation du poids des biens et services rendus par les écosystèmes dans le développement de l'activité économique et du bien-être humain.

Les chapitres suivants visent donc à décrire la méthodologie adoptée pour caractériser à la fois les interrelations entre milieux existantes sur le territoire du projet global Cigéo, les services écosystémiques rendus par ces milieux, mais aussi les incidences du projet sur ces interrelations et ces services écosystémiques.

16.1.2 Caractérisation des interactions entre le milieu physique, naturel et humain

Les principales interactions/interrelations au sein des différentes composantes environnementales du territoire du projet global Cigéo sont décrites à partir de trois types d'informations :

- des connaissances générales traitant du fonctionnement des différentes composantes environnementales. Pour rappel, ces connaissances générales concernent :
  - ✓ la circulation atmosphérique générale, le système climatique et la climatologie générale pour l'air et l'atmosphère ;
  - ✓ des principes généraux de pédologie et de la physico-chimie des sols pour la pédologie ;
  - ✓ du cycle de l'eau et du bilan hydrologique global pour les eaux de surface ;
  - ✓ les principes fondamentaux de l'écologie et des relations biologiques pour les milieux naturels ;
- des informations relatives à l'état initial de l'environnement publiées dans le volume III de cette étude d'impact ;
- dans une moindre mesure, à partir des connaissances expertes des ingénieurs de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE), à la fois spécialistes thématiques (air/atmosphère, pédologie, écologie, géographie, géologie, hydrologie) et connaisseurs du territoire.

Lorsque les types d'influences et les interfaces principales entre les composantes (eau, air, sol par exemple pour le milieu physique) sont caractérisés, il devient alors possible d'identifier plus précisément les interactions avec les composantes des autres milieux en se fondant sur les connaissances bibliographiques ou à dire d'expert.

16.1.3 Caractérisation des services écosystémiques

Les objectifs sont (i) de définir l'offre potentielle de services écosystémiques fournie par les écosystèmes présents au sein du territoire autour du projet global Cigéo et (ii) les potentiels impacts que le projet pourrait avoir sur le niveau de fourniture de ces services.

Ce travail a été réalisé en quatre étapes :

- définition des aires d'étude des services écosystémiques. Cette étape est un prérequis nécessaire à l'identification des services sur un territoire car ces derniers sont étroitement liés aux types d'écosystèmes présents et qui eux même dépend des spécificités du dit territoire ;
- caractérisation de la typologie des différents écosystèmes présents sur les aires étude et quantification de leurs superficies respectives ;
- identification des services écosystémiques potentiels associés à chaque type d'écosystème à partir de la bibliographie ;
- détermination de la capacité des écosystèmes à fournir des services écosystémiques.

16.1.3.1 Sélection des aires d'étude

Les services écosystémiques ont été évalués à deux échelles géographiques (cf. Figure 16-1) :

- l'aire d'étude utilisée pour la biodiversité, qui correspond à un cercle de 30 km de rayon centré sur la zone puits du centre de stockage Cigéo. Elle permet d'observer le contexte global de l'ensemble des opérations du projet global Cigéo ;
- une aire d'étude immédiate qui permet une analyse à l'échelle locale qui correspond à la zone d'intervention potentielle du projet global.

16.1.3.2 Typologie de l'occupation du sol présente sur les aires d'étude des services écosystémiques

Il s'agit ici de lister les différents types d'écosystèmes rencontrés sur l'aire d'étude éloignée et sur l'aire d'étude immédiate. Toutes les analyses cartographiques ont été réalisées à l'aide du logiciel QGIS.

OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol désigne *la couverture (bio-)physique de la surface des terres émergées* et donc le type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'Homme. Elle se traduit par une cartographie synthétique d'un territoire. L'occupation du sol permet de comprendre l'organisation et la dynamique spatiale d'un territoire.

CORINE LAND COVER (CLC)

CORINE Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution selon une nomenclature en 44 postes. Cet inventaire est produit par interprétation visuelle d'images satellite. L'échelle de production est le 1/100 000. CLC permet de cartographier des unités homogènes d'occupation des sols d'une surface minimale de 25 ha. Cette base de données a été initiée en 1985. Les millésimes 1990, 2000, 2006, 2012 et 2018 ont été réalisés.

Une typologie d'occupation des sols (cf. Tableau 16-1 et figure 16-1) a été réalisée sur la base des données issues de la BD Corine Land Cover 2018 (CLC 2018) et de la BD Topo IGN pour les milieux aquatiques.

Six types d'écosystèmes naturels ou artificiels ont ainsi été identifiés sur l'aire d'étude éloignée. Les libellés de cette typologie, ainsi que leurs définitions, correspondant au niveau 3 de la nomenclature Corine Land Cover (19), sauf pour les écosystèmes aquatiques et humides (non-inscrits dans le Corine Land Cover), sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 16-1 Typologie des écosystèmes naturels/artificiels présents sur l'aire d'étude éloignée

Écosystèmes	Source	Code CLC	Libellé CLC
Écosystèmes artificialisés imperméabilisés	CLC 2018	111	Tissu urbain continu
	CLC 2018	121	Zones industrielles et commerciales
	CLC 2018	122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
Écosystèmes artificialisés non imperméabilisés	CLC2018	112	Tissu urbain discontinu
	CLC 2018	131	Extraction de matériaux
	CLC 2018	141	Espaces verts urbains
	CLC 2018	142	Équipements sportifs et de loisirs
Écosystèmes agricoles	CLC 2018	211	Terres arables hors périmètres d'irrigation
	CLC 2018	222	Vergers et petits fruits
	CLC 2018	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
	CLC 2018	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
Écosystèmes prairiaux	CLC 2018	231	Prairies
Écosystèmes forestiers	CLC 2018	311	Forêts de feuillus
	CLC 2018	312	Forêts de conifères
	CLC 2018	313	Forêts mélangées
	CLC 2018	322	Landes et broussailles
	CLC 2018	324	Forêt et végétation arbustive en mutation
Écosystèmes aquatiques et humides	Andra	-	Zones humides
	BD Topo IGN	-	Cours et voies d'eau
	BD Topo IGN	-	Plans d'eau



Figure 16-1 *Les principaux écosystèmes présents dans les aires d'étude éloignée et immédiate autour du projet global Cigéo (source : Corine Land Cover 2018 et BD Topo IGN)*

16.1.3.3 Identification des services écosystémiques sur les aires d'étude

L'Identification, à partir de la bibliographie et des connaissances dites « expertes », des services écosystémiques potentiels associés à chaque type d'écosystème a été réalisée en trois étapes :

- dans un premier temps, une revue de la littérature a permis de compiler les nombreux services écosystémiques cités dans les rapports et publications scientifiques notamment internationales (MAES, IPBES, FAO. L'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) nomme environ 40 services écosystémiques à l'échelle de la France métropolitaine (253). Ces listes, en particulier celle de l'EFESE, ont servi de base à l'étude et ont conduit à une première liste, en excluant notamment les services rendus uniquement par les écosystèmes marins/littoraux (ex : production d'algue, tourisme fluviatile...) et de montagne qui ne sont pas représentés sur la zone d'implantation du projet global Cigéo ;
- dans un deuxième temps, cette première liste a été simplifiée, sur la base d'une démarche experte, en regroupant sous un même intitulé des services relevant des mêmes types d'usage. Par exemple, les services de production de bien végétaux à partir des plantes cultivées et à partir de surface en herbe, tous deux concernés par un usage agricole des sols, ont été regroupés sous l'intitulé production de cultures et de fourrage. Certains services écosystémiques comme l'atténuation naturelle des pesticides dans les sols ont été englobés sous l'intitulé régulation de la qualité des sols. Cette étape de simplification a permis d'établir une liste de 24 services écosystémiques, regroupés classiquement en trois catégories (approvisionnement ou biens, régulation et socio-culturel, EFESE 2017 (254)) ;
- enfin, dans une dernière étape, il s'agit de confirmer la pertinence des 24 services identifiés sur le territoire. Pour ce faire, chacun des 24 services écosystémiques est individuellement confronté aux écosystèmes naturels/artificiels présents sur le territoire en réalisant une matrice de service (Burkhard *et al*, 2009 (255)). Cette dernière met en relation les écosystèmes, représentés par des proxys « occupation du sol », et les services écosystémiques potentiellement fournis par les écosystèmes. Elle permet, de lier les capacités des différents écosystèmes à fournir des services écosystémiques (Burkhard *et al*, 2009 (255) ; Campagne et al, 2017 (256); Gorn *et al* 2018 (257)). L'utilisation d'une matrice de service constitue une première étape de caractérisation des services écosystémiques potentiels sur un territoire et peut, le cas échéant, être affinée par d'autres méthodes. De manière pratique, nous vérifions à partir des différentes matrices observées dans la bibliographie (Burkhard *et al*, 2009 (255) ; Campagne et al, 2017 (256) ; Gorn *et al* 2018 (257), Hermann *et al*, 2014 (258) Kroll *et al*, 2012 (259) ; Stoll *et al*, 2014 (260) ; Vihervaara *et al*., 2010 (261) que chacun des services écosystémiques identifiés initialement est bien fourni par au moins un écosystème présent sur le territoire. Si tel est le cas, il est alors conservé dans la sélection. Dans le détail, cette matrice est construite en intégrant, en colonnes, les 24 services écosystémiques identifiés et, en lignes, les six écosystèmes identifiés comme présents sur la zone éloignée des 30 km. Aux intersections des lignes et colonnes, la case est grisée lorsque l'on considère que l'écosystème est en mesure de rendre le service. Cette coloration en gris peut également être accompagnée de précisions sur la nature/description du service fourni. Cette démarche permet ainsi de conclure que chacun des 24 services écosystémiques identifiés est potentiellement fourni par au moins un type d'écosystème présent sur l'aire d'étude éloignée du projet global Cigéo.

Tableau 16-2 *Intitulé, définition et type de chacun des 24 services écosystémiques présents sur l'aire d'étude éloignée*

Intitulé du service écosystémique	Définition du service écosystémique	Type
Régulation du climat global	Capacité à réguler le climat mondial *via* des processus d'atténuation des flux de gaz à effet de serre et de stockage de carbone	Régulation
Régulation du climat local	Capacité à réguler la température ressentie	Régulation
Régulation de la qualité de l'air	Capacité à atténuer naturellement les flux de polluants atmosphériques	Régulation
Régulation de la qualité de l'eau	Capacité à atténuer naturellement les flux de polluants dans les masses d'eau	Régulation
Régulation de la qualité des sols	Capacité à atténuer naturellement les flux de polluants dans les sols	Régulation

Intitulé du service écosystémique	Définition du service écosystémique	Type
Régulation de la fertilité des sols	Capacité des sols à fournir des nutriments et de l'eau nécessaires à la croissance des plantes	Régulation
Régulation des crues et du débit d'étiage	Capacité à réguler les niveaux d'eau et les débits dans les cours d'eau	Régulation
Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion	Capacité à contrôler la perte de formations superficielles (contrôle des aléas naturels)	Régulation
Formation des sols	Capacité à favoriser la pédogénèse, c'est-à-dire à altérer la roche mère pour créer du sol	Régulation
Résilience face à des évènements climatiques extrêmes	Capacité à résister ou à se régénérer suite à des catastrophes naturelles (tempêtes, sécheresse, inondation...)	Régulation
Maintien de la diversité biologique	Capacité à fournir des habitats susceptibles d'accueillir une diversité spécifique et génétique riche et variée	Régulation
Pollinisation des espèces végétales	Capacité à fournir des conditions propices à la présence de pollinisateurs	Régulation
Régulation des bioagresseurs	Capacité à fournir des conditions permettant d'autoréguler la prolifération des maladies végétales	Régulation
Régulation des adventices	Capacité à autoréguler la prolifération des adventices des cultures (« mauvaises herbes »)	Régulation
Régulation des nuisances humaines (bruit, odeur, visuel)	Capacité à constituer des barrières, principalement physiques, vis-à-vis des nuisances auditives, olfactives et visuelles	Régulation
Production de cultures et de fourrages	Capacité à fournir tous types de productions agricoles végétales	Approvisionnement (Biens)
Production de biens animaux	Capacité à fournir tous types de productions agricoles animales	Approvisionnement (Biens)
Production de bois	Capacité à fournir du bois aux différents débouchés de la filière sylvicole (Ressource forestière)	Approvisionnement (Biens)
Quantité d'eau disponible pour l'Homme	Capacité à fournir de l'eau à usage domestique, industriel et agricole	Approvisionnement (Biens)
Productions végétales domestiques	Capacité des jardins, potagers et vergers d'un territoire à produire des denrées alimentaires	Approvisionnement (Biens)
Chasse	Capacité à fournir un cadre pour la pratique de la chasse	Socio-culturel
Cueillette	Capacité à fournir un cadre pour la pratique de la cueillette (champignons, fruits, flore...)	Socio- culturel
Pêche	Capacité à fournir un cadre pour la pratique de la pêche	Socio- culturel
Patrimoine	Capacité à fournir un cadre pour la pratique d'activités physiques et intellectuelles extérieures sans prélèvements	Socio- culturel

16.1.3.4 Évaluation des services écosystémiques autour du projet global Cigéo

Il existe une grande diversité de méthodes de modélisation permettant d'évaluer les services écosystémiques avec des niveaux de complexité très variables. L'approche la plus simple et la plus « stabilisée » consiste à utiliser uniquement des données d'occupation des sols comme indicateur spatial des services écosystémiques (Costanza, 2016 (262)). Cette méthode d'évaluation repose sur l'hypothèse que l'occupation des sols est le facteur déterminant majeur de la fourniture de services écosystémiques. Ces modèles communément appelés « *proxy models* » reposent simplement sur l'association des services écosystémiques à chaque classe d'occupation/utilisation du sol. À titre d'exemple, la donnée « superficie de forêt » peut être utilisée comme indicateur unique simplifié du service de régulation du climat global par les forêts. Ces modèles sont actuellement les plus employés pour cartographier les services écosystémiques.

À l'opposé de ces modèles proxy, les modèles fondés sur les traits fonctionnels et ceux fondés sur les processus intègrent un niveau de réalisme supérieur, en utilisant des relations statistiques, mathématiques ou causales entre des caractéristiques d'espèces (morphologiques, physiologiques ou phénoménologiques) ou des paramètres physico-chimiques et la production d'un services écosystémique donné. Par exemple le modèle d'érosion (par exemple, RUSLE développé par le *European Soil Data Center*) est construit à partir des multiples données tels que les précipitations, la topographie, la couverture végétale et est utilisé pour caractériser le service « régulation de l'érosion ».

Même si l'évaluation fondée sur les traits fonctionnels semble plus représentative des interactions, la complexité à définir des modèles fonctionnels contraint souvent à recourir à des indicateurs uniques de type proxy. Ces indicateurs plus simples à mettre en œuvre permettent néanmoins d'identifier la présence de service et d'évaluer les enjeux liés à leurs présences.

Dans cette étude d'impact, les services sont quantifiés par des indicateurs proxy de type occupation des sols représentatifs des écosystèmes identifiés (prairie, culture, forêt...). Les services écosystémiques ne sont donc pas à proprement dit quantifiés, ils sont évalués par la superficie calculée sur la zone d'étude des écosystèmes qui les supportent. Les superficies des différents types d'occupation du sol, selon les catégories définies dans le tableau 16-1, ont été calculées par traitement SIG du Corine Land Cover 2018 approuvés.

16.2 Méthode pour l'évaluation du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés

16.2.1 Réglementation

Ce chapitre répond à l'objectif fixé à l'article R. 122-5, II, 5° e) du code de l'environnement, qui prévoit que l'étude d'impact comprend : *« 5° Une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant, entre autres :*

(…)

e) des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés, en tenant compte le cas échéant des problèmes environnementaux relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et des zones revêtant une importance particulière pour l'environnement susceptibles d'être touchées.

Les projets existants sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont été réalisés.

Les projets approuvés sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont fait l'objet d'une décision leur permettant d'être réalisés.

Sont compris, en outre, les projets qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact :

- ont fait l'objet d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'article R. 181-14 et d'une consultation du public ;

- ont fait l'objet d'une évaluation environnementale au titre du présent code et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

Sont exclus les projets ayant fait l'objet d'un arrêté mentionnant un délai et devenu caduc, ceux dont la décision d'autorisation est devenue caduque, dont l'enquête publique n'est plus valable ainsi que ceux qui ont été officiellement abandonnés par le maître d'ouvrage ».

La réglementation ne précise pas plus en détail les modalités de recensement et d'identification des projets à analyser et il n'existe pas de guide spécifique en France précisant la méthode à mettre en œuvre pour recenser ces projets dont les effets peuvent se cumuler à ceux du projet objet de l'étude d'impact. Ainsi, la méthode exposée ci-après s'appuie sur :

- le guide du Cerema mis à jour en 2020 (263) relatif à l'évaluation environnementale des projets d'infrastructures linéaires de transport qui aborde notamment le sujet du cumul des incidences avec d'autres projets existants et approuvés ;
- le retour d'expérience sur d'autres grands projets et les avis de l'Autorité environnement exprimés sur ces dossiers notamment le rapport Ae de 2016 (264) qui indique « *Dans tous les cas, plutôt qu'une approche qualitative, passant en revue de façon indifférenciée toutes les thématiques environnementales, l'Ae recommande une analyse ciblée sur les enjeux environnementaux pour lesquels un cumul d'impact est probable et potentiellement significatif.* ».

16.2.2 Notion de cumul des incidences

La notion de cumul des incidences se réfère à la possibilité que les incidences temporaires ou permanentes occasionnées par le projet global Cigéo puissent s'additionner avec celles d'autres projets, existants ou approuvés.

La notion d'incidence cumulative se réfère, elle, aux interactions d'impacts au sein du projet global Cigéo. Ces interactions ont été traitées dans le chapitre précédent (cf. Chapitre 16.1 du présent volume de l'étude d'impact).

Il y a cumul d'incidences entre des projets :

- lorsqu'il y a conjonction entre les aires d'influences d'une même incidence ;
- lorsque les incidences individuelles des projets considérés concernent les mêmes facteurs environnementaux/enjeux (des espèces ou des habitats par exemple).

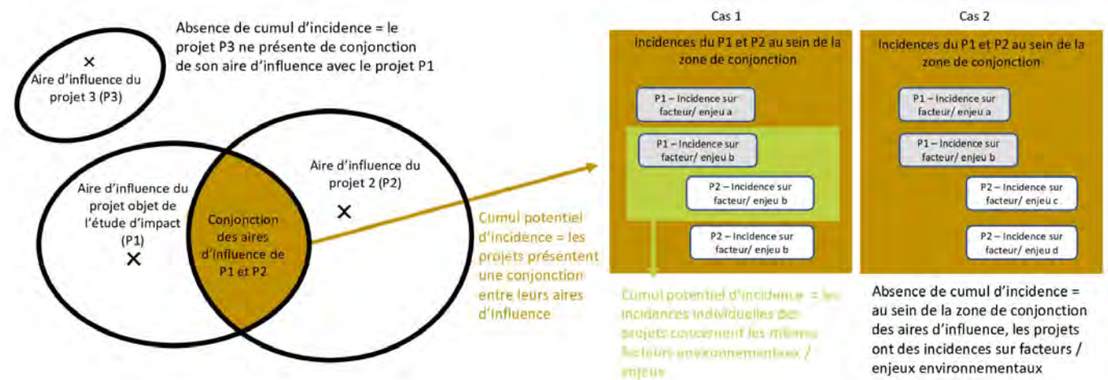


Figure 16-2 Représentation schématique de la notion de cumul d'incidence

Ce cumul des incidences de plusieurs projets peut être égal, inférieur ou supérieur à la somme des incidences individuelles. Ainsi, à titre d'exemples :

- cumul égal à la somme des incidences individuelles : le volume des matériaux consommés par deux projets correspond à une simple addition des volumes des deux projets (en tenant toutefois compte de leur provenance en cas de réutilisation de matériaux) ;
- cumul inférieur à la somme des incidences individuelles : le bruit résultant de plusieurs sources de bruit ne correspond pas à une addition linéaire. Par exemple, l'addition de deux sons de 60 dB chacun n'équivaut pas à 120 dB mais à 63 dB ;
- cumul supérieur à la somme des incidences individuelles : l'incidence de l'emprise cumulée de deux projets sur des habitats d'espèces peut engendrer une incidence supérieure à la simple addition de ces deux effets d'emprises sur l'état de conservation d'une espèce (cas où l'espèce ne disposerait plus d'habitat de report dans son domaine vital).

L'analyse des incidences cumulées implique donc :

- le recensement des projets susceptibles d'avoir une conjonction de zone d'influence avec le projet global Cigéo ;
- l'identification, au sein de la liste établie des projets, de ceux susceptibles de présenter des incidences cumulées avec le projet global Cigéo ;
- l'analyse des incidences cumulées de ces différents projets avec le projet global Cigéo.

16.2.3 Recensement des projets existants et approuvés

Le recensement vise les projets existants et approuvés.

Concernant les projets existants, l'état initial du territoire réalisé dans le cadre du volume III du présent dossier décrit les différents facteurs de l'environnement au sein du territoire en tenant compte, de fait, des projets déjà réalisés. Ainsi, les incidences du projet global Cigéo analysées dans le volume IV de la présente étude d'impact sont nécessairement cumulées aux incidences de ces projets existants réalisés, puisque l'analyse se fait en croisant le projet global Cigéo et l'état initial du territoire incluant les projets existants et leurs éventuels effets sur l'environnement (par exemple, la qualité d'un cours d'eau est liée à l'ensemble des projets existants sur le territoire, les incidences de ces projets existants ayant une influence sur celui-ci).

Le recensement des projets existants vise donc à identifier plus spécifiquement les projets dont la mise en service est récente (moins de six ans cf. Chapitre 16.2.3.2 du présent volume de l'étude d'impact) ou dont les travaux sont en cours de finalisation. Ces projets et leurs incidences n'ont pas pu être complètement pris en compte dans l'état initial du territoire.

Les projets approuvés correspondent, eux, à des projets pour lesquels une décision leur permettant d'être réalisés a été prise mais dont les travaux n'ont pas démarré. Les décisions permettant à des projets d'être réalisés sont notamment :

- les autorisations, enregistrement et déclarations au titre du code de l'environnement (police de l'eau, installations classées pour la protection de l'environnement, autorisation spéciale au titre des sites classés, dérogation dite espèces protégées…) ;
- les autorisations de défrichement au titre du code forestier ;
- les déclarations d'utilité publique au titre du code de l'expropriation pour cause d'utilité publique ou au titre du code de l'énergie ;
- les autorisations au titre du code de l'urbanisme ;
- les autorisations d'occupation ou d'utilisation du domaine public maritime naturel au titre du code général de la propriété des personnes publiques.

16.2.3.1 Adaptation du recensement de projet en fonction des aires d'influence et des décisions

Les incidences d'un projet sur l'environnement sont fonction de sa nature, de son ampleur, de sa durée et de la sensibilité (au projet) des différents facteurs de l'environnement des zones qu'il est susceptible d'affecter.

Or, l'étude d'impact rédigée dans le cadre d'une évaluation environnementale, les décisions prises dans le cadre de demandes d'examen au cas par cas et les décisions « environnementales » (liées au code de l'environnement) sont également prises et/ou élaborées en tenant compte de ces mêmes critères (nature, ampleur et incidence sur l'environnement).

C'est pourquoi le recensement puis l'analyse des projets sont faits en fonction :

- des aires d'études du projet global Cigéo (zones susceptibles d'être affectées par le projet global Cigéo) ;
- du type de procédures et décisions applicables aux projets (soumission au processus d'évaluation environnementale, application d'un régime déclaratif ou d'autorisation).

Rappelons que le code de l'environnement précise que le contenu de l'étude d'impact doit être *« proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, à l'importance et la nature des travaux, installations, ouvrages, (…) et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement »*.

Les projets concernés par une décision prise en vertu de dispositions étrangères au code de l'environnement (autorisations d'urbanisme, déclaration d'utilité publique notamment) peuvent faire l'objet d'une évaluation environnementale systématique, d'une demande d'examen au cas par cas ou d'une décision environnementale lorsque les effets sur les facteurs de l'environnement le justifient. Ils sont donc pris en compte, *via* ces décisions, dans le recensement proposé lorsque des effets sur les facteurs de l'environnement sont susceptibles de se cumuler à ceux du projet global Cigéo.

Le tableau 16-3 résume le principe de recensement en fonction des aires d'études du projet global Cigéo.

Tableau 16-3 Principe de recensement en fonction des aires d'études du projet global Cigéo

	Aires d'étude immédiate et rapprochée du projet global Cigéo	Aires d'étude éloignées du projet global Cigéo
Projets susceptibles d'effets importants par leur ampleur géographique et leur intensité	Effets cumulés probables avec le projet global Cigéo : recensement de tous les projets	
Projets susceptibles d'effets limités par leur ampleur géographique et leur intensité	Effets cumulés probables avec le projet global Cigéo : recensement de tous les projets	Effets cumulés très peu probables (ou non perceptibles) avec le projet global Cigéo, analyse non proportionnée : projets non recensés

En se basant sur l'esprit de la réglementation, sont considérés comme des projets susceptibles d'effets importants par leur situation géographique et leur ampleur :

- les projets soumis à évaluation environnementale ;
- les projets non soumis à évaluation environnementale de façon systématique mais devant obtenir une décision associée à un effet jugé important sur un ou plusieurs facteurs de l'environnement :
  - ✓ les projets soumis à autorisation au titre de la police de l'eau : les effets sont jugés importants sur la ressource en eau et les milieux aquatiques ;
  - ✓ les projets soumis à autorisation ou enregistrement au titre des installations classées pour la protection de l'environnement : ces projets comportent des installations présentant les risques ou pollutions importants ;
  - ✓ les projets soumis à dérogation à la destruction des espèces protégées : l'atteinte aux espèces protégées est considérée importante.

L'aire éloignée de recensement des projets est fonction des facteurs de l'environnement concernés (cf. Définition des aires d'étude pour le projet global Cigéo dans le cadre du volume VII), tel que cela apparait au chapitre 16.2.3.2 du présent volume. À titre d'exemple, le recensement des projet soumis à dérogation à la destruction d'espèces protégées tient compte de l'aire d'étude éloignée définie pour la biodiversité (cf. Chapitre 1.2 du présent volume) c'est-à-dire un cercle de 30 km de rayon centrée sur la zone puits qui intersecte les départements de la Meuse, de la Haute-Marne, des Vosges et de la Meurthe-et-Moselle.

Le projet n'affectant pas de réserve naturelle ou de site classé, les projets soumis uniquement aux autorisations suivantes ne sont pas recensés :

- les projets soumis à autorisation spéciale au titre des réserves naturelles ;
- les projets soumis à autorisation spéciale au titre des sites classés.

En complément, sont considérés comme des projets susceptibles d'effets limités, pouvant cependant se cumuler avec ceux du projet global Cigéo en raison de leur situation géographique et de leur ampleur :

- dans l'aire d'étude rapprochée : les projets soumis à une demande d'examen au cas par cas ;
- dans l'aire d'étude immédiate :
  - ✓ les projets soumis à déclaration au titre de la police de l'eau ;
  - ✓ les projets soumis à déclaration au titre des installations classées pour la protection de l'environnement.

Dans l'aire d'étude immédiate sont visés des projets pouvant ne pas être soumis à examen au cas par cas mais dont la décision est liée au code de l'environnement.

Le recensement ainsi établi est partagé avec les autorités compétentes, ce qui permet de s'assurer que l'ensemble des projets susceptibles d'effets cumulés avec le projet global Cigéo a été recensé.

» CAS PARTICULIER DE L'AIRE D'ÉTUDE SPÉCIFIQUE LIÉE À LA LIGNE 400 KV

Une aire d'étude spécifique a été définie pour les travaux de sécurisation de la ligne électrique 400 kV qui s'étendent sur 124 km d'est en ouest.

Pour de nombreux facteurs, cette étendue est largement en dehors de la zone susceptible d'être affectée par le reste du projet global Cigéo. Pour d'autres facteurs, l'aire d'étude éloignée, suffisamment vaste, intègre les travaux de sécurisation de la ligne électrique 400 kV.

Concernant la traversée des sites Natura 2000 (facteur biodiversité), RTE, maître d'ouvrage de l'opération, s'est attaché à définir de manière précise la nature et la consistance des travaux à entreprendre au niveau de chaque pylône. D'autre part, RTE a cherché au niveau de ces sites à éviter et à réduire les incidences de ces opérations en s'imposant par exemple de ne pas créer de plateforme provisoire de déroulage de câble de garde et en privilégiant les chemins d'accès existants. Ainsi, les pylônes identifiés avec des travaux de sécurisation des fondations et des structures sont les seuls susceptibles de présenter une incidence sur l'environnement qui justifie une analyse avec d'autres projets existants ou approuvés. Cela est traité dans le volume V de la présente étude d'impact (Natura 2000).

En dehors de la traversée des sites Natura 2000, il n'est pas possible de préciser à ce stade la consistance technique exacte des travaux de sécurisation mécanique à mener sur chaque pylône de la ligne 400 kV existante, ni de préciser les pistes d'accès provisoires dont le dimensionnement dépend des travaux à effectuer.

Il n'apparaît donc pas pertinent à date de recenser les projets sur l'ensemble des communes traversées par la ligne électrique objet des travaux. Une actualisation du recensement sera réalisée une fois les incidences des travaux d'entretien de la ligne aérienne précisées pour juger de la pertinence de l'aire de recensement des projets.

16.2.3.2 Recensement à l'échelle des aires d'étude éloignées

Le recensement des projets susceptibles d'effets importants couvre les aires d'études éloignées définies suivants les facteurs de l'environnement considérant la décision concernée. Ce recensement couvre, de facto, l'aire d'étude rapprochée et l'aire d'étude immédiate (couvertes par les aires d'étude éloignées).

Pour les projets soumis à évaluation environnementale (systématique ou après décision de l'autorité environnementale), le recensement a été réalisé sur l'ensemble de la région Grand Est. En effet, le projet global Cigéo étant relativement central au sein de la région Grand Est, cela permet de prendre en compte l'ensemble des projets susceptibles d'avoir des effets cumulés avec lui.

Pour le recensement des autres projets susceptibles d'effets importants, afin de tenir compte des propres aires d'influence de ces projets, le recensement a été réalisé dans les départements interceptés par les aires d'études éloignées du projet global Cigéo (en fonction des facteurs environnementaux concernés).

Tableau 16-4 Aires de recensement et source de l'information

Projets susceptibles d'effets importants	Aire de recensement	Source de l'information
Projets soumis à évaluation environnementale systématique ou après décision de l'autorité environnementale	Région Grand Est	Ae nationale et locale
Projets soumis à autorisation au titre de la police de l'eau	Départements de la Meuse et de la Haute-Marne	Préfectures des département concernés
Projets soumis à autorisation ou enregistrement au titre des installations classées pour la protection de l'environnement	Départements de la Meuse et de la Haute-Marne	Préfecture des département concernés
Projets soumis à dérogation à la destruction des espèces protégées	Départements de la Haute-Marne, de la Meuse, de la Meurthe-et-Moselle et des Vosges	DREAL Grand Est

Le recensement des données porte sur des décisions dont l'ancienneté remonte jusqu'à six ans par rapport à la date de production du présent dossier pour tenir compte :

- du délai d'obtention de la décision par rapport aux informations consultées sur les sites ;
- du délai de validité de la décision obtenue qui peut être très variable suivant la nature du projet. L'hypothèse retenue se fonde sur le délai de trois ans par défaut de validité de l'autorisation environnementale de l'article R. 181-48 I du code de l'environnement ;
- d'un aléa lié à la période du Covid (retard dans le démarrage des travaux estimé à environ deux ans) ayant conduit à un prolongement de la décision obtenue.

16.2.3.3 Recensement à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée et immédiate

Le recensement précédent effectué à l'échelle des aires d'étude éloignées couvre, de facto, l'aire d'étude rapprochée et l'aire d'étude immédiate (incluses dans les aires d'étude éloignées).

Au vu du principe énoncé précédemment, le recensement a porté, en complément, sur :

- les projet soumis à un examen au cas par cas sur les communes de l'aire d'étude rapprochée en consultant :
  - ✓la DREAL Grand Est concernant les décisions de l'Autorité environnementale locale (Mrae) ;
  - ✓le CGEDD concernant les décisions émises par l'Autorité environnementale nationale ;
- les projets soumis à déclaration (police de l'eau ou ICPE) en consultant les préfectures de la Meuse et de la Haute Marne.

Comme pour les projets susceptibles d'effets importants, le recensement des données tient compte des décisions prises depuis les six dernières années.

16.2.4 Analyse des incidences cumulées avec le projet global Cigéo

L'analyse des projets se base sur les données disponibles pour ces derniers, en ligne. Suivant le contexte du projet, les données disponibles sont : l'avis de l'Autorité environnementale, l'étude d'impact, le résumé non technique, l'étude d'incidences, le cerfa de demande d'examen au cas par cas… En l'absence de donnée disponible, cela est précisé.

16.2.4.1 Identification des projets susceptibles de présenter des incidences cumulées

L'ensemble des projets recensés n'est pas retenu pour l'analyse des incidences cumulées avec le projet global Cigéo. Des filtres sont appliqués pour affiner la liste des projets susceptibles de présenter des incidences cumulées.

Le premier filtre se base, de manière générale, sur un travail d'expertise sans analyse détaillée des données disponibles des projets recensés. Toutefois, lorsqu'il y a un doute sur les incidences potentielles du projet ou sa distance d'influence, les données disponibles du projet sont étudiées. Il ne s'agit donc pas d'un simple tri mécanique, l'expertise permet de garder les projets pouvant présenter des incidences cumulées.

Les critères suivants sont croisés :

- **« Typologie de projet »** - Les projets sont classés par type : agriculture, aménagements fonciers (AFAF), aménagements urbains, carrière, déchets, entretien/restauration de cours d'eau, prélèvements d'eau, éolien, industrie, photovoltaïque, etc. Les différents types d'incidences potentiellement générées par ces projets sont évalués « à dire d'expert » : augmentation de trafics, besoins en énergie, consommation de ressources naturelles, émission de gaz à effet de serre, etc. ;
- **« Distance »** - L'aire d'influence du projet considéré est évaluée « à dire d'expert » en tenant compte de sa distance avec le projet global Cigéo.

Le croisement des critères « typologie de projet » et « distance » permet de faire un premier tri des projets susceptibles de présenter des incidences cumulées avec le projet global Cigéo.

Afin d'accompagner cette analyse, une cartographie est proposée pour mieux localiser les différents projets géographiquement et le filtre appliqué.

Dans un second temps, les projets identifiés à l'issue du premier filtre font l'objet d'une analyse au regard du critère « Temporalité » en recherchant les informations dans les données disponibles des projets retenus. Si la période d'effet d'une incidence du projet global Cigéo coïncide au moins partiellement avec celle d'une incidence d'un projet retenu après analyse des critères « typologie » et « distance », le cumul des incidences est analysé.

De plus, si des informations émergent concernant la caducité possible d'un projet, une sollicitation officielle du maître d'ouvrage du projet concerné est réalisée pour déterminer la suppression ou non du projet de la liste de ceux à analyser.

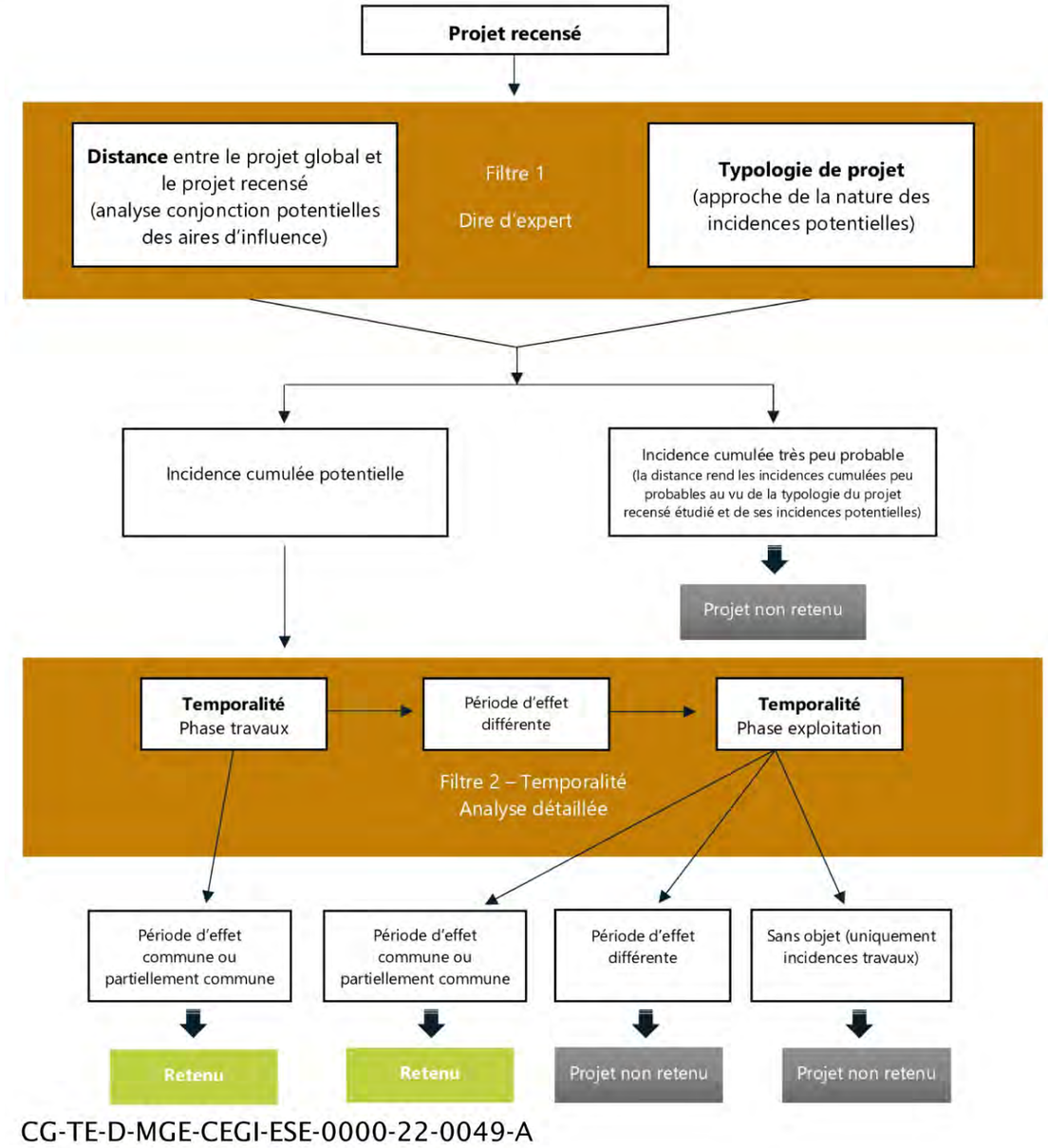


Figure 16-3 Logigramme d'analyse des incidences cumulées des projets recensés avec le projet objet de l'étude d'impact

16.2.4.2 Analyse des incidences cumulées entre les projets

L'analyse des incidences cumulées porte sur la liste des projets établie suite au recensement puis à l'identification décrite précédemment.

Tout d'abord, chacun des projets est décrit succinctement : la consistance du projet, sa localisation, ses emprises, les principaux enjeux/facteurs environnementaux concernés.

Ensuite une analyse des données disponibles sur chacun des projets est réalisée afin de faire ressortir :

- les incidences individuelles du projet considéré lorsqu'elles concernent les mêmes facteurs environnementaux/enjeux que ceux du projet global Cigéo ;
- les mesures proposées vis-à-vis de ces incidences afin de s'assurer de la cohérence des mesures entre elles.

Pour chacun des facteurs ainsi recensés, un tableau présente les incidences de chaque projet susceptible de se cumuler avec le projet global Cigéo. Il se conclut sur les incidences cumulées du projet global Cigéo avec les autres projets.

Afin d'accompagner ce tableau, des cartographies sont proposées pour mieux localiser les différents projets géographiquement.

Partant du postulat que des projets de même type ont le même type d'incidences potentielles sur leur environnement, les projets sont triés selon leur typologie (cf. Chapitre 16.2.4.1 sur la typologie des projets). Ainsi, l'analyse des incidences potentielles est organisée par groupe de projets de même type. Pour chacun des groupes, l'analyse suit le même protocole décrit ci-avant.

Un bilan transverse sur tous les projets, par facteur environnemental, est toutefois réalisé compte tenu de facteurs qui concerne plusieurs typologies de projets.

17

Meilleures techniques disponibles

17.1 Contexte règlementaire 280
17.2 Catégories d'activités de l'annexe I de la directive IED concernées 280
17.3 Documents de référence retenus pour l'analyse 281
17.4 Proposition de MTD spécifiques à l'activité de stockage souterrain de déchets radioactifs dans le centre de stockage Cigéo 284

17.1 Contexte règlementaire

Lorsque l'INB comporte au moins une des activités énumérées à l'annexe I de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (dite directive IED et dénommée de cette manière dans la suite du document) (265), l'étude d'impact comporte également les informations prévues par l'article R. 593-94 du code de l'environnement.

Pour rappel, la directive IED (265) a pour objectif la prévention et la réduction des émissions dans l'air, l'eau et le sol de certaines activités industrielles qu'elle énumère au sein de son annexe I.

L'article R. 593-93 du code de l'environnement précise que les dispositions mentionnées à l'article R. 593-94 dudit code (comparaison du fonctionnement des activités avec les meilleures techniques disponibles) s'appliquent :

- *« aux équipements et installations mentionnés à l'article L. 593-3 »* (équipements, installations, ouvrages, travaux ou activités implantés ou exercés dans le périmètre d'une INB et placés sous la responsabilité du même exploitant, qui sont nécessaires au fonctionnement de ladite INB, y compris ceux qui sont inscrits aux nomenclatures IOTA et/ou ICPE) *« et, le cas échéant, aux installations nucléaires de base comportant au moins une des activités énumérées à l'annexe I de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles »* ;
- *« aux installations ou équipements s'y rapportant directement, exploités sur le même site, liés techniquement à ces installations et susceptibles d'avoir des incidences sur les émissions et la pollution de ces dernières »*.

Selon l'article R 593-94 du code de l'environnement, pour les INB entrant dans le champ d'application de la directive IED (265), l'étude d'impact décrit, *« en ce qui concerne les activités mentionnées à l'annexe I de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles relevant de l'article L. 593-3, les mesures prévues pour l'application des meilleures techniques disponibles prévues à l'article L. 593-32, ainsi qu'une comparaison du fonctionnement de ces activités avec :*

- *« soit les meilleures techniques disponibles décrites dans les conclusions sur les meilleures techniques disponibles mentionnées à l'article L. 593-32 et au premier alinéa de l'article R. 593-99 »*, à savoir les conclusions sur les meilleures techniques disponibles, adoptées par la Commission européenne en application de la directive IED servant de référence pour l'élaboration des prescriptions applicables à l'installation ;
- *« soit les meilleures techniques disponibles figurant au sein des documents de référence sur les meilleures techniques disponibles adoptés par la Commission européenne avant le 7 janvier 2013 mentionnés au dernier alinéa de l'article R. 593-99, en l'absence de conclusions sur les meilleures techniques disponibles mentionnées au premier alinéa de l'article R. 593-99* ». Cet alinéa désigne les documents de référence sur les MTD, désignés par l'acronyme BREF (*Best available technique REFerence*) ».

Toutefois, lorsque l'activité ou le type de procédé de production utilisé n'est couvert par aucune des conclusions sur les meilleures techniques disponibles ou si ces conclusions ne prennent pas en considération toutes les incidences possibles de l'activité ou du type de procédé utilisé sur l'environnement, cette description est complétée par une proposition de meilleure technique disponible et par une justification de cette proposition en accordant une attention particulière aux critères énumérés à l'annexe III de la même directive (article R. 593-94 du code de l'environnement).

Enfin, l'article R 593-99 du code de l'environnement précise que « dans l'attente de conclusions sur les meilleures techniques disponibles, les meilleures techniques disponibles figurant au sein des documents de référence sur les meilleures techniques disponibles adoptés par la Commission européenne avant le 6 janvier 2011 valent conclusions sur les meilleures techniques disponibles pour les activités énumérées à l'annexe I de la directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 (265) exercées dans le périmètre et nécessaires au fonctionnement de l'installation nucléaire de base. ».

Par ailleurs, d'après l'article 3 de la directive IED (265) :

- *une « installation »* est *« une unité technique fixe au sein de laquelle interviennent une ou plusieurs des activités figurant à l'annexe I ou dans la partie 1 de l'annexe VII, ainsi que toute autre activité s'y rapportant directement, exercée sur le même site, qui est liée techniquement aux activités énumérées dans ces annexes et qui est susceptible d'avoir des incidences sur les émissions et la pollution » ;*
- *une « émission »* est un *« rejet direct ou indirect, à partir de sources ponctuelles ou diffuses de l'installation, de substances, de vibrations, de chaleur ou de bruit dans l'air, l'eau ou le sol ».*

17.2 Catégories d'activités de l'annexe I de la directive IED concernées

La liste des activités prise en compte pour l'analyse est ensuite comparée à la liste des *« catégories d'activités »* figurant en annexe I de la directive IED (nommées par la suite « catégories d'activités IED ») (265). Pour mémoire, cette comparaison est présentée dans le volume I de la présente étude d'impact.

Il ressort de cette comparaison que quatre catégories d'activités IED sont susceptibles de correspondre aux activités retenues pour l'analyse. Elles sont présentées dans le tableau 17-1.

Compte tenu des seuils fixés par l'intitulé de chacune des rubriquesretenues pour l'analyse, seules deux catégories d'activités mentionnées à l'annexe I de la directive IED sont retenues et visées par la présente demande :

- **« *5.6. Stockage souterrain de déchets dangereux, avec une capacité totale supérieure à 50 tonnes »*, *correspondant à l'activité exercée dans l'installation de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (la ZIOS du centre de stockage Cigéo) ⇨ il s'agit de l'activité principale retenue au titre de la directive IED ;***
- **« *5.5. Stockage temporaire de déchets dangereux ne relevant pas du point 5.4, dans l'attente d'une des activités énumérées aux points 5.1, 5.2, 5.4 et 5.6 avec une capacité totale supérieure à 50 tonnes, à l'exclusion du stockage temporaire sur le site où les déchets sont produits, dans l'attente de la collecte* », correspondant à l'activité exercée dans les bâtiments nucléaires EP1 et EP2.**

Tableau 17-1 Catégories d'activités de l'annexe I de la directive IED correspondant à des activités retenues pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD pour l'INB Cigéo

Catégories d'activité	Positionnement de l'INB
Industries d'activités énergétiques	
Combustion de combustibles dans des installations d'une puissance thermique nominale totale égale ou supérieure à 50 MW	Activité exercée mais non classée au titre de l'annexe I de la directive IED (265), la puissance des installations de combustion étant inférieure à 50 MW
Gestion des déchets	
5.5. Stockage temporaire de déchets dangereux ne relevant pas du point 5.4, dans l'attente d'une des activités énumérées aux points 5.1, 5.2, 5.4 et 5.6 avec une capacité totale supérieure à 50 tonnes, à l'exclusion du stockage temporaire sur le site où les déchets sont produits, dans l'attente de la collecte	Activité exercée dans les bâtiments nucléaires de surface EP1 et EP2 et classée au titre de l'annexe I de la directive IED, la capacité totale de stockage temporaire étant supérieure à 50 tonnes
Stockage souterrain de déchets dangereux, avec une capacité totale supérieure à 50 tonnes	Activité exercée dans l'installation de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (ZIOS) et classée au titre de l'annexe I de la directive IED (265), la capacité de stockage totale étant supérieure à 50 tonnes
Autres activités	
Traitement des eaux résiduaires dans des installations autonomes ne relevant pas de la directive 91/271/CEE (266), qui sont rejetées par une installation couverte par l'une des précédentes catégories d'activité	Les stations de traitement des eaux résiduaires du centre de stockage Cigéo ne sont pas classables au titre de cette catégorie d'activité, considérant qu'elles ne traitent pas d'eaux résiduaires provenant d'autres installations que celles du centre de stockage lui-même

17.3 Documents de référence retenus pour l'analyse

Les MTD mentionnées dans les documents ci-après sont transposables aux activités : de réception des colis de déchets expédiés par les producteurs, de contrôle et de préparation pour le stockage et de transfert vers l'installation souterraine où ils sont positionnés dans des alvéoles de stockage en fonction de leur nature et de leur activité, de stockage de déchets. En ce qui concerne l'activité de stockage de déchets radioactifs en couche géologique propfonde, une proposition de MTD est présentée (cf. Chapitre 17.4 du présent volume).

17.3.1 Dans le champ d'application de la directive IED

La directive IED (265) impose aux États membres de fonder les conditions d'autorisation d'exploiter des grandes installations agro-industrielles, entrant dans son champ d'application, sur les meilleures techniques disponibles (MTD) dans leur domaine d'application. Pour ce faire elle prévoit un échange d'informations entre États membres, industries, organisations non gouvernementales de protection de l'environnement et Commission Européenne, qui aboutit à la création de documents de référence MTD appelés « BREFs » (pour *Best available techniques REFerence documents*). Pour mémoire, les premiers BREFs ont été établis en application de la directive n°2008/1/CE du 15 janvier 2008 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (dite directive IIPC) (267). La directive IPPC a ensuite été abrogée par la directive IED, en application de laquelle les BREFs suivants ont été établis.

La majorité des documents de référence adoptés couvrent des activités agro-industrielles spécifiques ; il s'agit de documents de référence dits « sectoriels ». Les autres traitent des questions transversales telles que l'efficacité énergétique, les systèmes de refroidissement industriels ou les émissions provenant du stockage avec un intérêt pour la fabrication industrielle en général ; il s'agit de documents de référence dits « horizontaux ».

De manière générale les BREFs sont structurés comme suit :

- préface, portée et champ d'application ;
- informations générales sur le secteur ;
- procédés et techniques appliqués ;
- niveaux actuels d'émission et de consommation ;
- techniques à prendre en compte dans la détermination des MTD ;
- conclusions sur les MTD ;
- techniques émergentes ;
- remarques finales et recommandations pour les travaux futurs ;
- références ;
- glossaire des termes et abréviations ;
- annexes (selon secteur et disponibilité des informations).

Pour les BREFs établis en application de la directive IED (265), les « conclusions sur les meilleures techniques disponibles » adoptées par décision d'exécution de la Commission européenne constituent un document spécifique contenant les parties d'un « BREF » établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles. Conformément à l'article14, paragraphe 3, de la directive IED, les « conclusions sur les meilleures techniques disponibles » adoptées par décision d'exécution constituent la référence pour la fixation des limites d'émission et la délivrance des autorisations d'exploitation pour les grandes installations agro-industrielles couvertes par l'annexe I de la directive IED.

Les documents de référence adoptés par la Commission européenne à prendre en compte pour l'analyse sont donc :

- d'une part, les « conclusions sur les meilleures techniques disponibles », adoptées par la Commission européenne en application de la directive IED, document de référence pour l'élaboration des prescriptions applicables aux grandes installations agro-industrielles couvertes par l'annexe I de ladite directive ;

- d'autre part, les BREFs, documents de référence établis par la Commission européenne, avant le 6 janvier 2011, en application de la directive IPPC (267), étant entendu qu'en l'absence de « conclusions sur les meilleures techniques disponibles » ces BREFs valent conclusions sur les meilleures techniques disponibles pour les activités énumérées à l'annexe I de la directive IED, exercées dans le périmètre et nécessaires au fonctionnement de l'installation nucléaire de base.

La liste des BREFs et des « conclusions sur les meilleures techniques disponibles » est disponible sur le site du Bureau européen de prévention et de contrôle intégrés de la pollution[58] (268).

Les BREFs sont téléchargeables en anglais sur le site du Bureau européen de prévention et de contrôle intégrés de la pollution[59] (268). Une traduction en français est disponible sur le site Aida de l'Ineris[60] (269).

Les « conclusions sur les meilleures techniques disponibles » adoptées en application de la directive IED sont téléchargeables en français sur le site du Bureau européen de prévention et de contrôle intégrés de la pollution[61].

Afin d'établir la liste des documents de référence à retenir pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD, une comparaison est faite entre les activités retenues pour l'analyse et les activités ou les catégories d'activités mentionnées respectivement dans le champ d'application des BREFs ou des « conclusions sur les meilleures techniques disponibles ».

Au terme de cette comparaison (cf. Chapitre 17.3.1.1 du présent volume), **les documents de référence suivants sont retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD pour le centre de stockage Cigéo** :

- « conclusions sur les meilleures techniques disponibles pour le traitement des déchets » au titre de la directive IED (265), adoptées par décision d'exécution (UE) 2018/1147 de la commission du 10 août 2018 (270, 271) » (document de référence sectoriel) retenu pour EP1/EP2 (activité 5.5 de la directive IED) et par extension pour l'installation de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde, en l'absence de conclusions spécifiques applicables pour cette activité (activité 5.6 de la directive IED). En effet, l'activité de traitement de déchets est l'activité IED ayant le plus de similarités avec l'activité de stockage de déchets. L'analyse de ces conclusions MTD WT permet d'étudier toutes les thématiques pertinentes, afin de s'assurer que les techniques mises en œuvre au sein du stockage sont des MTD au titre de la directive IED ;
- BREF « EFS - Émissions dues au stockage » (272), « ENE - Efficacité énergétique » (273), « ICS - Systèmes de refroidissement industriel » (274) et « BREF ROM - Principes généraux de surveillance des émissions dans l'air et dans l'eau des installations relevant de la directive sur les émissions industrielles » (275) (documents de référence horizontaux).

17.3.1.1 Documents de référence sectoriels

Le choix des documents de référence sectoriels (entrant dans le champ de la directive IED) retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD est justifié dans le tableau 17-2 ci-après.

Tableau 17-2 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – Documents sectoriels entrant dans le champ de la directive IED

Documents de référence relatifs aux MTD dits sectoriels	Justification du choix des documents de référence retenus
Industries d'activités énergétiques	
Conclusions sur les MTD LCP - Grande installation de combustion (juillet 2017)	Document de référence non retenu ⇨ les installations de combustion entrant dans son champ d'application sont celles ayant une puissance installée globale supérieure à 50 MW, ce qui n'est pas le cas des installations de combustion du centre de stockage Cigéo prises en compte dans l'analyse.
Conclusions sur les MTD REF - Raffinage de pétrole et de gaz (avril 2015)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans le champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo.
Productions et transformations des métaux	
Conclusions sur les MTD EST (sur site Bureau IPPC) ou I&S (sur site Aida) - Aciéries, production sidérurgique (mars 2012)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
BREF SF - Forges et fonderie (mai 2015)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
BREF FMP - Traitement des métaux ferreux (décembre 2001)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Conclusions sur les MTD NFM - Industrie des métaux non ferreux (juin 2016)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
BREF STM - Traitement de surface des métaux et des matières plastiques (août 2006)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Industries minérales	
Conclusions sur les MTD CLM - Ciments et chaux (avril 2013)	Document de référence non retenu ⇨ ce document de référence est mentionné comme susceptible de présenter un intérêt dans les conclusions sur les MTD WT par ailleurs retenues, néanmoins les activités listées dans son champ d'application (fabrication de ciments et chaux) ne sont pas exercées sur le centre de stockage Cigéo.
Conclusions sur les MTD GLS - Verreries (mars 2012)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
BREF CER - Céramiques (août 2007)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Industries chimiques	
Conclusions sur les MTD COV (sur site Bureau IPPC) ou LVOC (sur site Aida) - Chimie organique à grand volume de production (novembre 2017)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercée sur le centre de stockage Cigéo
BREF OFC - Fabrication de produits de chimie organique fine (août 2006)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercée sur le centre de stockage Cigéo
BREF POL - Production de polymères (août 2007)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercée sur le centre de stockage Cigéo

[58] https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/
[59] https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/
[60] https://aida.ineris.fr/guides/directive-ied/documents-bref
[61] https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/

Documents de référence relatifs aux MTD dits sectoriels	Justification du choix des documents de référence retenus
BREF LVIC-AAF - Fabrication de produits chimiques inorganiques en grands volumes - Ammoniac, acides et engrais (août 2007)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercée sur le centre de stockage Cigéo
BREF LVIC-S - Fabrication de produits chimiques inorganiques en grands volumes - Solides et autres (août 2007)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
BREF SIC - Fabrication des spécialités chimiques inorganiques (août 2007)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Conclusions sur les MTD CAK - Production de chlore et de soude (octobre 2014)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Conclusions sur les MTD CWW - Systèmes communs de traitement et de gestion des effluents aqueux et gazeux dans le secteur chimique (mai 2016)	Document de référence non retenu ⇨ document de référence mentionné comme susceptible de présenter un intérêt dans les conclusions sur les MTD WT par ailleurs retenues mais activité non exercée dans le cadre du projet.
Gestion des déchets	
Conclusions sur les MTD WT - Industries de traitement des déchets (octobre 2018) (270)	Document de référence retenu ⇨ document de référence applicable à EP1/EP2 qui entrent dans son champ d'application (activité 5.5 de la directive IED) et retenu par extension à l'installation de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde, en l'absence de conclusions spécifiques applicables pour cette activité (activité 5.6 de la directive IED).
Conclusions sur les MTD PO (sur site Bureau IPPC) ou WI (sur site Aida) - Incinération des déchets (décembre 2019)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Autres activités	
Conclusions sur les MTD PP - Production de pâte à papier, de papier et de carton (avril 2015)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
BREF SMS (sur site Bureau IPPC) ou TXT (sur site Aida) - Textile (juillet 2003)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Conclusions sur les MTD BRONZER (sur site Bureau IPPC) ou TAN (sur site Aida) - Tannerie (février 2013)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
BREF SA - Abattoirs et équarrissage (mai 2005)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Conclusions sur les MTD FDM - Industries agro-alimentaires et laitières (décembre 2019)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Conclusions sur les MTD IRPP - Elevage intensif de volailles et de porcins (février 2017)	Document de référence non retenu ⇨ ce document de référence est mentionné comme susceptible de présenter un intérêt dans les conclusions sur les MTD WT par ailleurs retenues, néanmoins les activités listées dans son champ d'application (élevages de volailles et de porcins) ne sont pas exercées sur le centre de stockage Cigéo.
Conclusions sur les MTD STS - Traitement de surface utilisant des solvants (décembre 2020)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo
Conclusions sur les MTD WBP - Fabrication de panneaux à base de bois (novembre 2015)	Document de référence non retenu ⇨ activités listées dans son champ d'application non exercées sur le centre de stockage Cigéo

17.3.1.2 Documents de référence horizontaux

Par ailleurs, la décision d'exécution (UE) 2018/1147 de la commission du 10 août 2018 (270, 271) établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour le traitement des déchets, au titre de la directive IED mentionne d'autres documents de référence dits horizontaux comme étant également susceptibles de présenter un intérêt pour les activités visées dans ladite décision ; le choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD est justifié dans le tableau 17-3 ci-après.

Tableau 17-3 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – BREFs horizontaux entrant dans le champ de la directive IED (265) et mentionnés dans les conclusions sur les MTD pour le traitement des déchets

Documents de référence relatifs aux MTD dits horizontaux	Justification du choix des documents de référence retenus
BREF ECM - Aspects économiques et effets multi-milieux (juillet 2006)	Document de référence non retenu ⇨ document mentionné comme susceptible de présenter un intérêt dans les conclusions sur les MTD WT mais applicable en cas de demande de dérogation dans le cadre de la réalisation d'étude technico-économique de réduction des émissions, ce qui n'est pas le cas à ce stade du projet.
BREF EFS - Émissions dues au stockage (juillet 2006) (272)	Document de référence retenu ⇨ de manière générale pour les matières dangereuses ou les matières stockées en vrac sur le périmètre de l'INB et plus particulièrement pour l'activité de stockage des déblais d'excavation du Callovo-Oxfordien en zone puits travaux et verses (stockage vrac de grande capacité, considérée comme activité techniquement liée susceptible d'avoir des incidences sur les émissions et la pollution).
BREF ENE - Efficacité énergétique (février 2009) (273)	Document de référence retenu ⇨ de manière générale pour l'INB et plus particulièrement pour les installations de production et de transfert des fluides « eau chaude » et « eau glacée », considérées comme installations techniquement liées susceptibles d'avoir des incidences sur les émissions et la pollution.
BREF ROM - Principes généraux de surveillance des émissions dans l'air et dans l'eau des installations relevant de la directive sur les émissions industrielles (aout 2018) (275)	Document de référence retenu ⇨ pour les installations de rejets d'air et d'eau associées aux activités IED et aux installations techniquement liées susceptibles d'avoir des incidences sur les émissions et la pollution.

Bien que non mentionnés dans la décision d'exécution (UE) 2018/1147 de la commission du 10 août 2018 (270, 271) établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour le traitement des déchets,

au titre de la directive IED (265), d'autres documents de référence horizontaux, entrant dans le champ de la directive IED, sont susceptibles de présenter un intérêt pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD. La justification du choix de ceux retenus est présentée dans le tableau 17-4 ci-après.

Tableau 17-4 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – BREFs horizontaux entrant dans le champ de la directive IED non mentionnés dans les conclusions sur les MTD pour le traitement des déchets

Documents de référence relatifs aux MTD dits horizontaux	Justification du choix des documents de référence retenus
BREF ICS - Systèmes de refroidissement industriel (décembre 2001) (274)	Document de référence retenu ⇨ pour les installations de production et de transfert du fluide « eau glacée », considérées comme installations techniquement liées susceptibles d'avoir des incidences sur les émissions et la pollution.

17.3.2 Hors champ d'application de la directive IED

Le choix des documents de référence (hors champ de la directive IED) retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD, est justifié dans le tableau 17-5 ci-après.

Tableau 17-5 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – Documents hors champ de la directive IED

Documents de référence relatifs aux MTD dits sectoriels	Justification du choix des documents de référence retenus
Directive 2006/21/CE du 15 mars 2006 concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive et modifiant la directive 2004/35/CE (276)	
BREF MWEI - Gestion des résidus d'industries extractives (décembre 2018) (277)	Document de référence retenu ⇨ applicable dans l'éventualité où le cas où la valorisation des verses mortes aboutirait.

17.4 Proposition de MTD spécifiques à l'activité de stockage souterrain de déchets radioactifs dans le centre de stockage Cigéo

Conformément à l'article R. 593-94 du code de l'environnement, l'analyse est complétée par une proposition de meilleures techniques disponibles spécifiques à l'activité de stockage souterrain de déchets radioactifs et notamment aux techniques de stockage à long terme dans la couche géologique profonde argileuse du Callovo-Oxfordien.

Pour mémoire, l'article R. 593-94 est rappelé ci-après :

« lorsque l'activité ou le type de procédé de production utilisé n'est couvert par aucune des conclusions sur les meilleures techniques disponibles ou si ces conclusions ne prennent pas en considération toutes les incidences possibles de l'activité ou du type de procédé utilisé sur l'environnement, cette description est complétée par une proposition de meilleure technique disponible et par une justification de cette proposition en accordant une attention particulière aux critères énumérés à l'annexe III de la même directive. ».

Les 12 critères de l'annexe III de la directive IED sont listés ci-dessous :

1. Utilisation de techniques produisant peu de déchets ;
2. Utilisation de substances moins dangereuses ;
3. Développement des techniques de récupération et de recyclage des substances émises et utilisées dans le procédé et des déchets, le cas échéant ;
4. Procédés, équipements ou modes d'exploitation comparables qui ont été expérimentés avec succès à une échelle industrielle ;
5. Progrès techniques et évolution des connaissances scientifiques ;
6. Nature, effets et volume des émissions concernées ;
7. Dates de mise en service des installations nouvelles ou existantes ;
8. Délai nécessaire à la mise en place de la meilleure technique disponible ;
9. Consommation et nature des matières premières (y compris l'eau) utilisées dans le procédé et efficacité énergétique ;
10. Nécessité de prévenir ou de réduire à un minimum l'impact global des émissions sur l'environnement et des risques qui en résultent pour ce dernier ;
11. Nécessité de prévenir les accidents et d'en réduire les conséquences sur l'environnement ;
12. Informations publiées par des organisations internationales publiques.

Cette proposition se base également sur les exigences du Guide de l'ASN n °1 publié le 8 février 2008.

18

Démarche d'évaluation des incidences après fermeture

18.1 Opérations de démantèlement et de fermeture 286
18.2 Stockage après fermeture 286

18.1 Opérations de démantèlement et de fermeture

L'analyse des incidences est réalisée sur la base d'une description technique des opérations de démantèlement et de fermeture envisagées à ce stade. En effet, les opérations de démantèlement et de fermeture n'étant, à ce stade, pas déterminées avec précision et de façon définitive, les incidences anticipées présentées dans la présente étude d'impact le sont à titre indicatif.

Les incidences résiduelles sont évaluées compte tenu des mesures actuellement prévues. Celles-ci pourront être affinées d'ici là en fonction des évolutions technologiques et de la souplesse possible d'organisation dans l'espace et le temps des opérations de démantèlement et de fermeture, afin de réduire les incidences au niveau le plus faible raisonnablement possible.

18.2 Stockage après fermeture

La sûreté après fermeture est assurée de façon passive, c'est-à-dire que l'homme et l'environnement sont protégés des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir. La protection de l'homme et de l'environnement à long terme repose sur la couche du Callovo-Oxfordien, qui joue un rôle central de cette protection, complétée par des dispositifs ouvragés comme les ouvrages de fermeture des liaisons surface-fond (puits et descenderies).

La méthodologie d'évaluation des incidences sur la santé humaine du stockage après fermeture est présentée dans le volume VI de la présente étude d'impact.

L'Andra conduit des travaux de recherche pour compléter cette démarche par une approche plus spécifique sur la faune et la flore sur le long terme après-fermeture. Des réflexions sur la méthodologie sont en cours, sur la base de la méthode ERICA (cf. Chapitre 6.2.6 du présent volume). Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'un plan d'actions qui a été partagé avec l'ASN et l'IRSN.

ANNEXES

Annexe 1 Valeurs seuils relatives à la qualité de l'air

Les critères nationaux d'évaluation de la qualité de l'air définis aux articles R. 221-1 et suivants du code de l'environnement (codifiant le décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 (278) relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites) sont indiqués dans le tableau annexe 1-1. Les seuils réglementaires en vigueur pour la mise en œuvre des procédures d'information et d'alerte sont indiqués dans le tableau annexe 1-2.

Tableau Annexe 1-1 Critères nationaux d'évaluation de la qualité de l'air

Polluants	Valeurs règlementaires	Valeur	Période de calcul de la moyenne
Dioxyde d'azote (NO_2)	Valeur limite à ne pas dépasser plus de 18 fois par an (protection santé humaine)	200 µg.m^{-3}	Horaire
	Valeur limite (protection santé humaine)	40 µg.m^{-3}	Annuelle
Oxydes d'azote (NO_x)	Valeur limite pour la protection de la végétation	30 µg.m^{-3}	Annuelle
Monoxyde de carbone (CO)	Valeur limite	10 000 µg.m^{-3} (10 mg.m^{-3})	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h
Benzène (COV pris en référence)	Objectif qualité	2 µg.m^{-3}	Annuelle
	Valeur limite pour la protection de la santé humaine	5 µg.m^{-3}	Annuelle
Particules (PM_{10})	Objectif de qualité	30 µg.m^{-3}	Annuelle
	Valeur limite	40 µg.m^{-3}	Annuelle
	Valeur limite à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile (protection santé)	50 µg.m^{-3}	Journalière
Particules ($PM_{2,5}$)	Objectif de qualité	10 µg.m^{-3}	Annuelle
	Valeur cible	20 µg.m^{-3}	Annuelle
	Valeur limite	25 µg.m^{-3}	Annuelle
Dioxyde de soufre (SO_2)	Valeur limite à ne pas dépasser plus de 24 fois par an (protection santé humaine)	350 µg.m^{-3}	Horaire
	Valeur limite à ne pas dépasser plus de 3 fois par an	125 µg.m^{-3}	Journalière
	Objectif de qualité	50 µg.m^{-3}	Annuelle
	Valeur limite pour la protection de la végétation	20 µg.m^{-3}	Année civile et du 1er octobre au 31 mars
Ozone (O_3)	Valeur cible : valeur santé humaine, à ne pas dépasser plus de 25 jours par an, moyenne calculée sur 3 ans[62]	120 µg.m^{-3}	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures
	Objectifs à long terme pour la protection de la santé humaine	120 µg.m^{-3}	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h pendant 1 an civil
	Objectifs à long terme pour la protection de la végétation AOT 40[63]	6 000 µg.m^{-3}	Mai à juillet (Calculé à partir des valeurs horaires de 8 h à 20 h)
	Valeur cible : AOT 40**, moyenne calculée sur 5 ans pour la protection de la végétation	18 000 µg.m^{-3}.h^{-1}	Mai à juillet (calculé à partir des valeurs horaires de 8 h à 20 h)
Benzo(a)pyrène (hydrocarbure Aromatique Polycyclique)	Valeur cible : protection de la santé humaine	1 ng.m^{-3}	Année civile
Plomb (Pb)	Objectif qualité	0,25 µg.m^{-3}	Annuelle
	Valeur limite	0,5 µg.m^{-3}	Annuelle
Arsenic (As)	Valeur cible (moyennée, du contenu total de la fraction « PM_{10} »)	6 ng.m^{-3}	Annuelle
Nickel (Ni)	Valeur cible (moyennée, du contenu total de la fraction « PM_{10} »)	20 ng.m^{-3}	Annuelle
Cadmium (Cd)	Valeur cible (moyennée, du contenu total de la fraction « PM_{10} »)	5 ng.m^{-3}	Annuelle

[62] 120 µg.m^{-3} pour le maximum journalier de la moyenne sur huit heures, seuil à ne pas dépasser plus de vingt-cinq jours par année civile en moyenne calculée sur trois ans ou, à défaut d'une série complète et continue de données annuelles sur cette période, calculée sur des données valides relevées pendant un an.

[63] L'AOT40 (exprimé en µg.m^{-3} par heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg.m^{-3} (= 40 parties par milliard) et 80 µg.m^{-3} durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs sur une heure mesurée quotidiennement entre huit heures et vingt heures.

Tableau Annexe 1-2 Seuils réglementaires en vigueur pour la mise en œuvre des procédures d'information et d'alerte

Polluants	Seuil règlementaire	Valeur	Période de calcul de la moyenne
Dioxyde de soufre (SO_2)	Seuil d'alerte	500 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant trois heures consécutives
	Valeur limite (protection santé humaine)	300 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant trois heures consécutives
Dioxyde d'azote (NO_2)	Valeur limite pour la protection de la végétation	400 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant trois heures consécutives ; Ou 200 µg.m^{-3} en moyenne horaire, dépassé pendant 3 heures consécutives si la procédure d'information et de recommandation pour le NO_2 a été déclenchée la veille et le jour même, et que les prévisions font craindre un dépassement pour le lendemain
	Seuil d'information	200 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant 3 heures consécutives
Particules (PM_{10})	Seuil d'alerte	80 µg.m^{-3}	Moyenne sur 24 heures calculée de 0 h à 0 h sur critères de superficie et populations exposées. Déclenchement sur persistance : 50 µg.m^{-3} en moyenne journalière calculée de 0 h à 0 h si constat de dépassement pour J-2 et J-1, et prévision de dépassement pour J et J + 1
	Seuil d'information	50 µg.m^{-3}	Moyenne sur 24 heures, calculée de 0 h à 0 h sur critères de superficie et populations exposées.
Ozone	Seuil d'alerte	240 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant 3 heures consécutives
	Seuil d'information	180 µg.m^{-3}	Moyenne horaire

Annexe 2 Caractéristiques des sources d'émission atmosphériques

2.1 En phase de construction initiale

2.1.1 Centre de stockage Cigéo

Rejets canalisés

Les caractéristiques des points de rejets canalisés et les flux sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau Annexe 2-1 Caractéristiques des rejets canalisés en phase CI

Unité	Zone	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Température de rejet °C	Vitesse de rejet m/s	NOx T/an	PM10 T/an	PM2.5 T/an	CO T/an	SO2 T/an	COVNM T/an	BENZENE T/an
Production de béton	ZD	16	1	293.15	35,37	0	1,39	1.39	0	0	0	0
ITC centrale à béton 'SS4)	ZD	10	1	293.15	2,55	0	6,31	6.31	0	0	0	0
ITC centrale mortier DS	ZD	10	1	293.15	2,55	0	6,31	6.31	0	0	0	0
ITC centrale mortier DC	ZD	10	1	293.15	2,55	0	6,31	6.31	0	0	0	0
ITC Atelier mécanique 1 150 m²	ZD	10	0,25	283.65	10,19	9,86.10-1	9,86.10-1	9,86.10-1	9,86.10-8	2,96	9,86	9,86
ITC Atelier mécanique 1 250 m²	ZD	10	0,25	283.65	10,19	9,86.10-1	9,86.10-1	9,86.10-1	9,86.10-8	2,96	9,86	9,86
Descenderie colis	ZD	0	8,7	293.15	5,28	3,50.10+1	9,90.10+1	9,90.10+1	8,85.10+1	0	5,20	5,20
ITC creusement puits MMT	ZP	0	10	293.15	0,47	6,11	1,17.10+1	1,17.10+1	1,91.10+1	0	1,44	1,44
ITC creusement puits VFT	ZP	0	8	293.15	0,74	6,11	1,17.10+1	1,17.10+1	1,91.10+1	0	1,44	1,44
ITC creusement puits VFE	ZP	0	8	293.15	0,74	6,11	1,17.10+1	1,17.10+1	1,91.10+1	0	1,44	1,44
ITC creusement puits VVE	ZP	0	8	293.15	0,74	6,11	1,17.10+1	1,17.10+1	1,91.10+1	0	1,44	1,44
ITC creusement puits VVT	ZP	0	8	293.15	0,74	6,11	1,17.10+1	1,17.10+1	1,91.10+1	0	1,44	1,44
Centrale béton – silos de stockage	ZP	10	1	293.15	2,55	0	6,31	6,31	0	0	0	0
ITC centrale à béton ZD	ZD	10	1	293.15	2,55	0	2,25	2,25	0	0	0	0
ITC centrale à béton ZP	ZP	10	1	293.15	2,55	0	2,25	2,25	0	0	0	0

Sources linéiques

Les émissions prises en compte pour les sources linéiques sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau Annexe 2-2 Caractéristiques des sources linéiques en phase CI – en T/an

Sources		Zone	PM10	PM2.5	NOx	CO	HC Totaux	Benzène
Circulation des véhicules légers et des poids-lourds	Émissions liées aux gaz d'échappement	ZD	0.07	0.07	9.84	2.49	0.93	0.047
		ZP	0.04	0.04	6.48	1.72	0.57	0.028
	Émissions de poussières liées au roulage sur voiries goudronnées	ZD	16.25	67.15	0.00	0.00	0.00	0.000
		ZP	10.68	44.13	0.00	0.00	0.00	0.000
	Émissions totales (gaz d'échappement + roulage)	ZD	16.31	67.21	9.84	2.49	0.93	0.047
		ZP	10.72	44.17	6.48	1.72	0.57	0.028

Sources surfaciques

Les émissions pour les sources surfaciques sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau Annexe 2-3 Caractéristiques des sources surfaciques en phase CI – en T/an

Sources		Zone	PM10	PM2.5	NOx	CO	HC Totaux	Benzène
Engins circulant sur les plateformes et zones de chantier de la zone descenderie et la zone puits	Émissions liées aux gaz d'échappement	ZD	0.33	0.33	66.82	28.47	3.47	0.17345
		ZP	0.33	0.33	64.55	27.09	3.49	0.1745
	Verses : émissions liées aux gaz d'échappement et soulèvement de poussières	ZP	4.46	44.39	2.8	1.19	0.15	0.0075
	Envol de poussières	ZD	4.76	11.9	0.00	0.00	0.00	0
		ZP	6.53	16.33	0.00	0.00	0.00	0
	Verses : envol de poussières	ZP	0.34	2.25	0.00	0.00	0.00	0
	Émissions totales	ZD	5.09	12.23	66.82	28.47	3.47	0.173
		ZP	11.66	63.30	67.35	28.28	3.64	0.182

2.1.2 Trafic circulant sur le réseau routier principal

Le tableau suivant présente les résultats des émissions totales pour l'ensemble du domaine d'étude en tonne/an en considérant cinq jours de circulation par semaine (circulation liée au projet global Cigéo uniquement).

Tableau Annexe 2-4 Bilan des émissions en polluants atmosphériques sur le domaine d'étude en phase CI

	Émissions en kg/j	Émissions en t/an
NOx	12,4	3,23
Particules $PM_{2,5}$	14,1	3,66
Particules PM_{10}	55,6	14,46
CO	8,7	2,27
COVNM	0,3	0,075
Benzène	$9{,}3.10^{-3}$	$2{,}42.10^{-3}$

2.1.3 Véhicules circulant sur la liaison intersites

Le tableau suivant présente le bilan des émissions engendrées par la liaison intersites.

Tableau Annexe 2-5 Bilan des émissions en polluants atmosphériques engendrées par la liaison intersites en phase CI – en T/an

Polluants		PM10	PM2.5	NOx	COV	Benzène	CO
Circulation des véhicules légers et des poids-lourds	Émissions liées aux gaz d'échappement	0,05	0,03	0,35	0,012	$1{,}4.10^{-4}$	0,21
	Émissions de poussières liées au roulage sur voiries goudronnées	4.14	1,00	-	-	-	-
	Émissions totales (gaz d'échappement + roulage)	4,19	1,03	0,35	0,012	$1{,}4.10^{-4}$	0,21

2.2 En phase de fonctionnement

2.2.1 Centre de stockage

Rejets canalisés

Les caractéristiques des points de rejets canalisés et les flux sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau Annexe 2-6 Caractéristiques des rejets canalisés en phase F

Unité	Zone	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Température de rejet °C	Vitesse de rejet m/s	NOx T/an	PM10 T/an	CO T/an	SO2 T/an	COV T/an	PM2.5 T/an
Chantier EP2 : Centrale à béton EP2	ZD	10	1	20	21,2	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,84
Usine de ventilation descenderie service	ZD	5,1	6,19	20	0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cheminée puits VVT	ZP	10	5	20	15,3	12,39	94,61	36,98	0,00	2,65	94,61
Centrale béton - silos de stockage	ZP	10	1	20	2,5	0,00	6,31	0,00	0,00	0,00	6,31
Centrale béton - malaxeur I	ZP	10	1	20	2,5	0,00	6,31	0,00	0,00	0,00	6,31
Centrale béton - Malaxeur II	ZP	10	1	20	2,5	0,00	6,31	0,00	0,00	0,00	6,31
Centrale béton - unité de traitement	ZP	10	1	20	2,5	0,00	6,31	0,00	0,00	0,00	6,31
Atelier de maintenance	ZP	10	0,25	10,5	10,2	4,93	0,99	0,00	2,96	0,00	0,99
Concassage des voussoirs	ZP	3	1	10,5	2,5	0,00	6,31	0,00	0,00	0,00	6,31
Chaudière bois ZD	ZD	14	0,51	160	8	7,98	0,28	0,06	1,81	0,00	0,28
Chaudière gaz 1 ZD	ZD	11	0.46	104	5	0,19	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Chaudière gaz 2 ZD	ZD	11	0,33	104	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chaudière bois ZP	ZP	14	0,52	160	5	5,13	0,18	0,04	1,16	0,00	0,18
Chaudière gaz 1 ZP	ZP	11	0,38	104	5	0,14	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Chaudière gaz 2 ZP	ZP	11	0,35	104	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sources linéiques

Les émissions prises en compte pour les sources linéiques sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau Annexe 2-7 Caractéristiques des sources linéiques en phase F – en T/an

Sources		Zone	Particules	NOx	HC totaux	CO
Circulation des véhicules légers et des poids-lourds	Émissions liées aux gaz d'échappement	ZD	0,01	0,49	0,17	1,91
		ZP	0,05	1,85	0,75	7,52
	Émissions de poussières liées au roulage sur voiries goudronnées	ZD	13,01	0,00	0,00	0,00
		ZP	51,46	0,00	0,00	0,00
	Émissions totales (gaz d'échappement + roulage)	ZD	13,02	0,49	0,17	1,91
		ZP	51,51	1,85	0,75	7,52

Sources surfaciques

Les émissions pour les sources surfaciques sont présentées dans le tableau suivant.

Il n'y a pas d'émissions surfaciques sur la zone descenderie en phase de fonctionnement.

Tableau Annexe 2-8 Caractéristiques des sources surfaciques en phase F – en T/an

Sources		Zone	Particules	NOx	HC totaux	CO
Engins circulant sur les plateformes et zones de chantier de la zone descenderie et la zone puits	Émissions liées aux gaz d'échappement	ZD	0	0	0	0
		ZP	3,90E-02	2,609	0,341	6,227
	Verses : émissions liées aux gaz d'échappement et soulèvement de poussières	ZP	16,726	0,451	6,00E-02	1,06
	Envol de poussières	ZD	0	0	0	0
		ZP	8,711	0	0	0
	Verses : envol de poussières	ZP	2,2	0	0	0
	Émissions totales	ZD	0,00	0,00	0,00	0,00
		ZP	27,68	3,06	0,40	7,29

2.2.2 Trafic circulant sur le réseau routier principal

Le tableau suivant présente les résultats des émissions totales pour l'ensemble du domaine d'étude en tonne/an en considérant cinq jours de circulation par semaine (circulation liée au projet global Cigéo uniquement).

Tableau Annexe 2-9 Bilan des émissions en polluants atmosphériques sur le domaine d'étude en phase F

	Émissions en kg/j	Émissions en t/an
NOx	2,2	0,57
Particules $PM_{2,5}$	9,9	2,57
Particules PM_{10}	39,8	10,34
CO	2,9	0,76
COVNM	0,1	0,020
Benzène	$0,9.10^{-3}$	$2,45.10^{-4}$

2.2.3 Véhicules circulant sur la liaison intersites

Le tableau suivant présente le bilan des émissions engendrées par la liaison intersites.

Tableau Annexe 2-10 Bilan des émissions en polluants atmosphériques engendrées par la liaison intersites en phase F – en T/an

Polluants		PM10	PM2.5	NOx	COV	Benzène	CO
Circulation des véhicules légers et des poids-lourds	Émissions liées aux gaz d'échappement	0,07	0,04	0,16	0,01	$6,15.10^{-5}$	0,20
	Émissions de poussières liées au roulage sur voiries goudronnées	5,11	1,24	-	-	-	-
	Émissions totales (gaz d'échappement + roulage)	5,18	1,28	0,16	0,01	$6,15.10^{-5}$	0,20

Annexe 3 Détermination des coefficients de Montana avec les différents ajustements de Montana (fréquence de retour 2 ans, 10 ans et 100 ans)

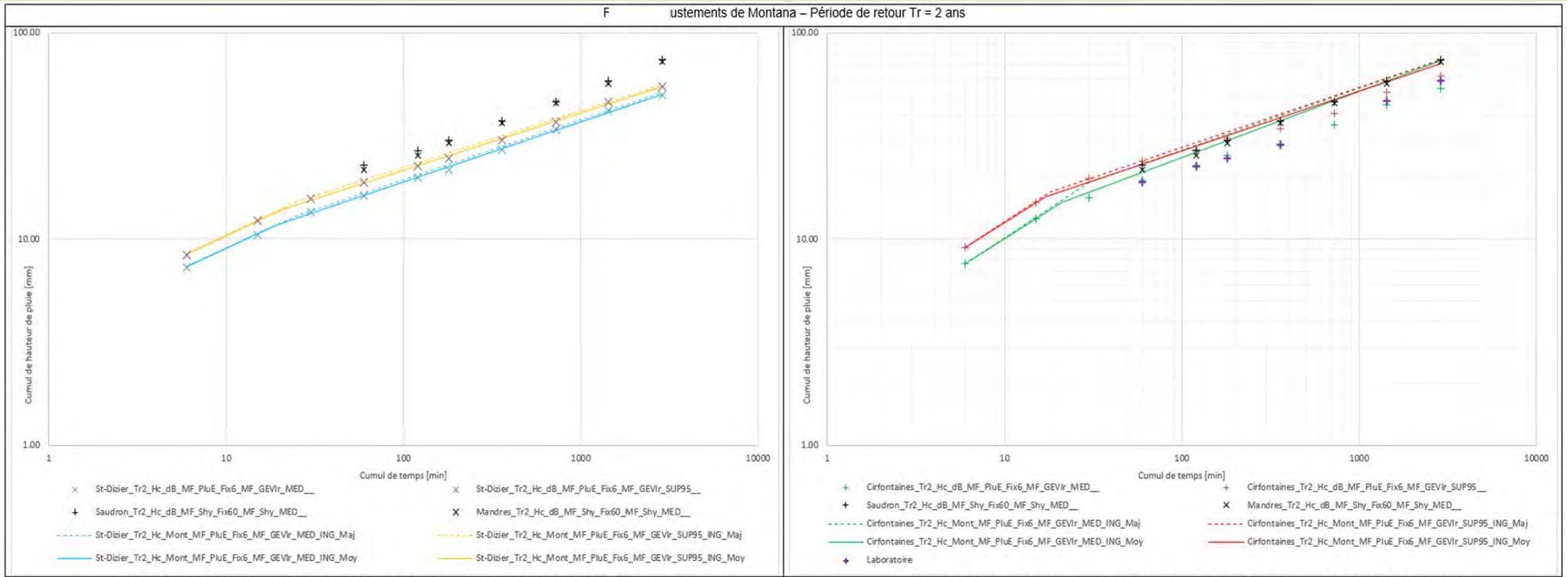
3.1 Résultats

Tableau Annexe 3-1 Résultats – Tableaux des coefficients de Montana

Station	T retour [ans]	Domaine de validité - cumul de temps [min]		a [mm/min]	b [-]
		Borne Inf.	Borne Sup.		
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	2	6	21	2,863	0,454
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	2	21	2880	5,647	0,677
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	2	6	30	2,776	0,437
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	2	30	2880	6,782	0,700
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	2	6	17	3,434	0,455
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	2	17	2880	7,090	0,711
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	6	18	3,326	0,437
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	18	2880	7,297	0,709
Saint-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	2	6	19	3,578	0,600
Saint -Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	2	19	2880	4,910	0,708
Saint -Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	2	6	25	3,576	0,600
Saint -Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	2	25	2880	5,095	0,710
Saint -Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	2	6	21	4,054	0,592
Saint -Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	2	21	2880	6,052	0,724
Saint -Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	6	25	4,005	0,585
Saint -Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	25	2880	6,280	0,725
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	10	6	26	4,642	0,469
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	10	26	2880	11,023	0,735
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	10	6	23	4,017	0,399
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	10	23	2880	11,675	0,739
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	10	6	33	5,299	0,441
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	10	33	2880	19,220	0,809
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	6	28	4,750	0,388

Station	T retour [ans]	Domaine de validité - cumul de temps [min]		a [mm/min]	b [-]
		Borne Inf.	Borne Sup.		
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	28	2880	18,629	0,798
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	10	6	24	5,177	0,548
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	10	24	2880	10,282	0,764
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	10	6	25	5,163	0,546
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	10	25	2880	10,277	0,760
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	10	6	25	5,902	0,536
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	10	25	2880	13,040	0,783
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	6	25	5,808	0,528
Saint -Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	25	2880	12,978	0,777
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	100	6	36	4,996	0,334
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	100	36	2880	28,017	0,816
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	100	6	36	4,782	0,313
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	100	36	2880	29,644	0,822
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	100	6	41	5,575	0,276
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	100	41	2880	57,658	0,905
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	100	6	43	5,539	0,271
Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	100	43	2880	62,625	0,916
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	100	6	29	6,162	0,458
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	100	29	2880	21,155	0,824
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	100	6	25	5,661	0,411
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	100	25	2880	20,614	0,812
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	100	6	26	6,499	0,386
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	100	26	2880	29,030	0,845
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	100	6	27	6,439	0,381
Saint -Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	100	27	2880	29,142	0,839

Tableau Annexe 3-2 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 2 ans



Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)

Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)

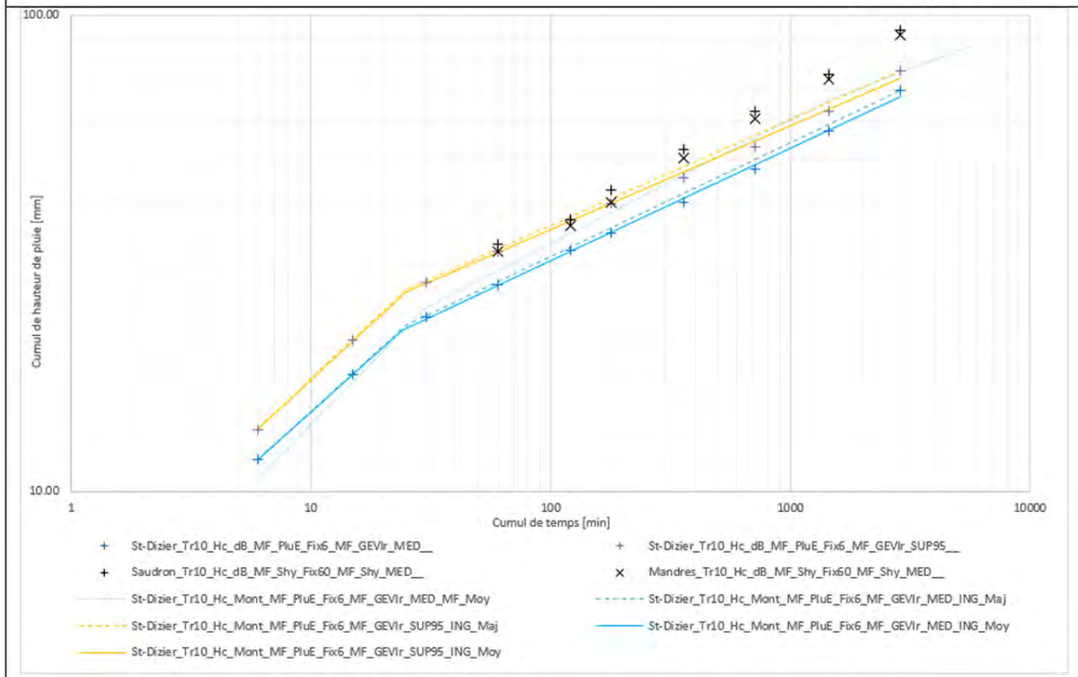
Ajustements moyens de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC (Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)

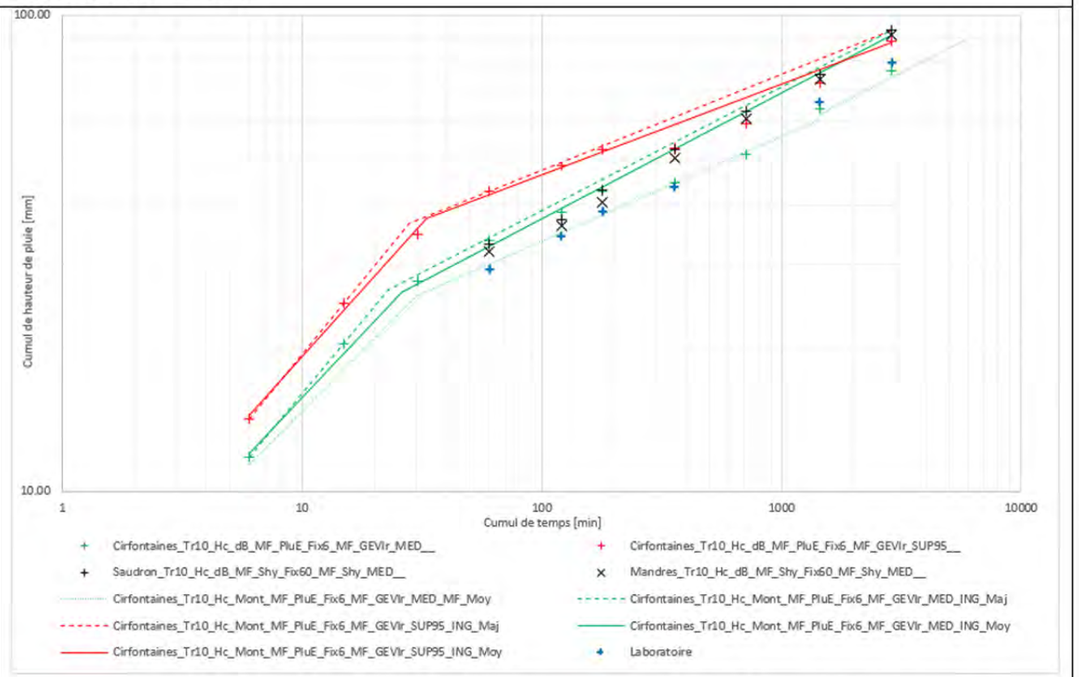
Ajustements majorants de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC (Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)

CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0481-A

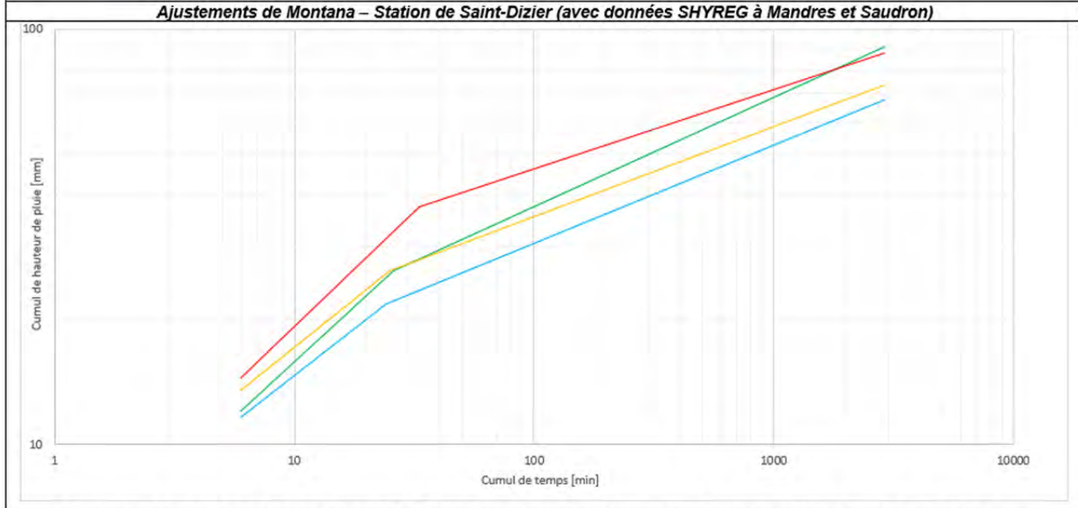
Tableau Annexe 3-3 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 10 ans

Figure 10 : Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 10 ans



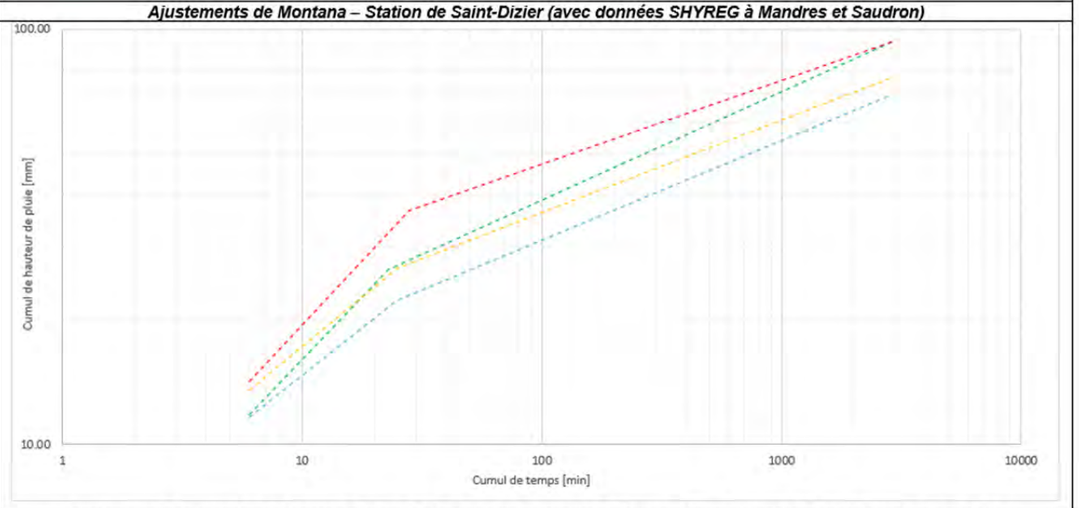


Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)



Ajustements moyens de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC avec ajustements de Montana de base de Météo-France (Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)

Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)

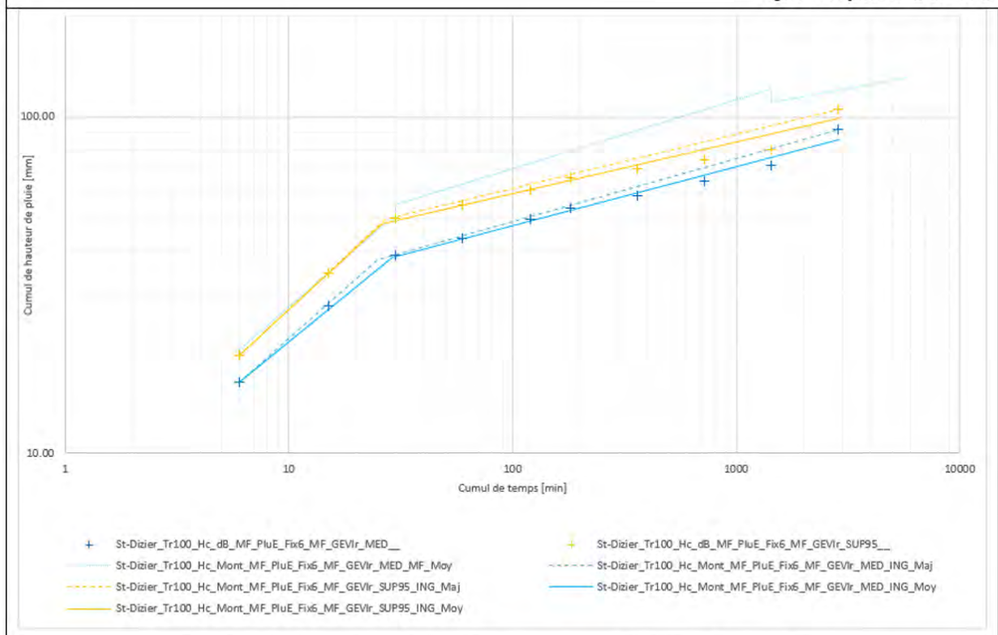


Ajustements majorants de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC (Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)

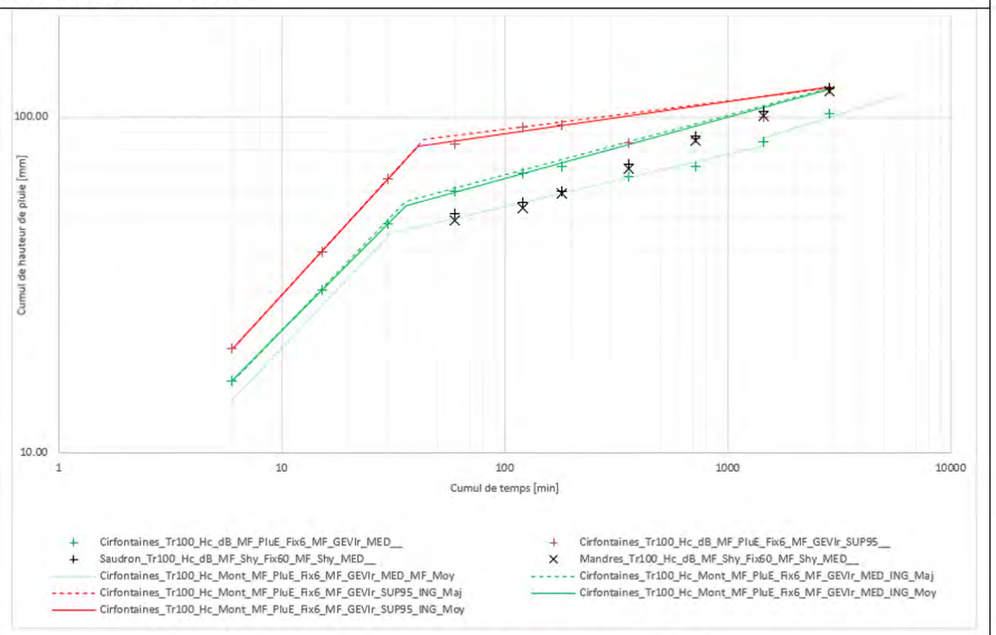
CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0482-A

Tableau Annexe 3-4 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 100 ans

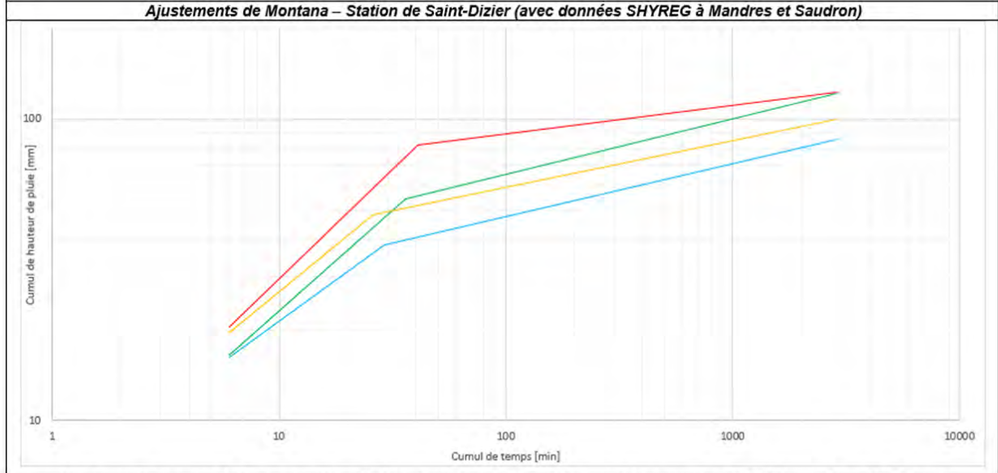
Figure 11 : Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 100 ans



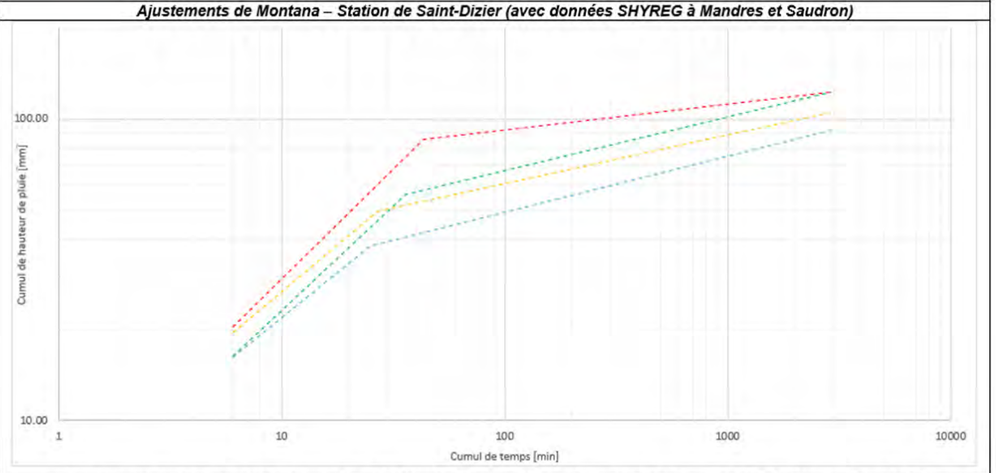
Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)



Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)



Ajustements moyens de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC avec ajustements de Montana de base de Météo-France ((Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)



Ajustements majorants de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC (Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)

CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0483-A

3.2 Discussions – Conclusion

3.2.1 Comparaison des données médianes de Météo-France et d'autres sources

Les résultats de base permettant de réaliser les ajustements de Montana proviennent de données de Météo-France. Il peut être intéressant de comparer les sources à notre disposition en provenance de Météo-France et de comparer les différentes données médianes. Dans les tableaux ci-après, les données suivantes sont présentées et discutées :

- données de cumuls de hauteur d'eau calculées à partir des coefficients de Montana ajustés par Météo-France (cf. Caractéristiques des données d'entrée) ;
- données de cumul de hauteur d'eau brutes commandées à Météo-France, dans le cadre du présent dossier ;
- les jeux de données Shyreg sont également présentés. Pour mémoire, ces jeux de données sont intéressants car ils résultent d'une démarche d'analyse régionalisée.

Les graphiques de ces différents jeux de données sont visibles dans les figures ci-après.

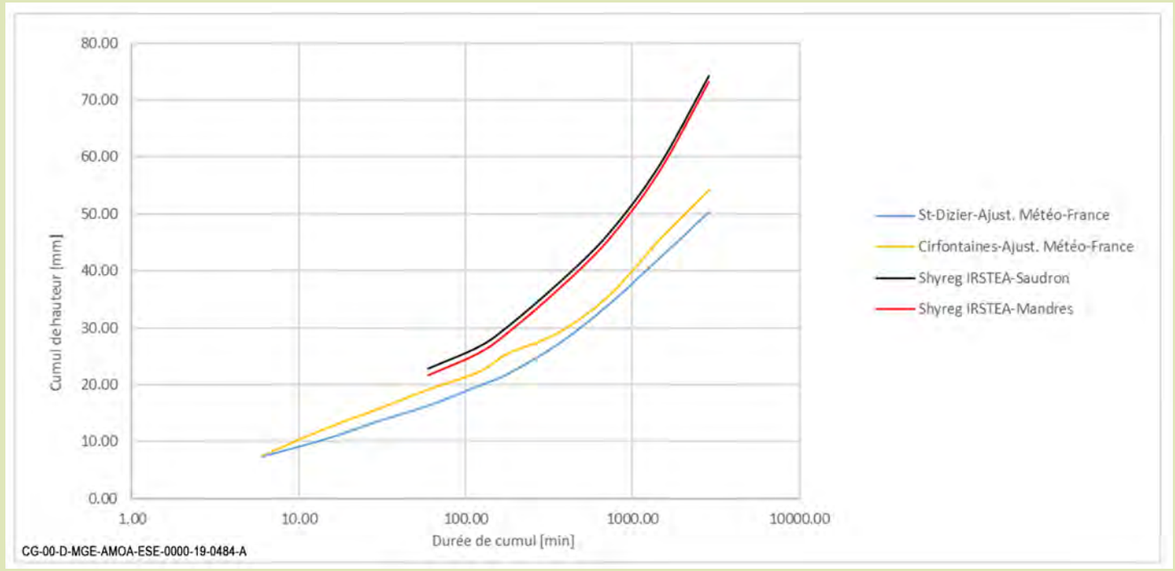
Il ressort de l'analyse de ces données et des graphiques les éléments suivants :

- comme attendu, les jeux de coefficients de Montana bruts fournis par Météo-France présentent des discontinuités aux frontières de leur domaine de validité. La présence de ces discontinuités n'est pas compatible avec l'emploi de ces coefficients en hydrologie et en hydraulique et justifie d'ailleurs leurs nouveaux calculs (en effet, cette absence de continuité autoriserait le fait de disposer, pour une même durée de cumul, de deux cumuls de hauteur de pluie. Cela n'aurait aucun sens physique et pourrait poser des problèmes en démarche de pré-dimensionnement, de dimensionnement et de conception des pluies de projet) ;
- pour l'ensemble des périodes de retour étudiés, les deux jeux de données Shyreg indiquent les même résultats (même tendances et valeurs très proches). Les valeurs médianes de cumuls de hauteurs de pluie issues des jeux de données Shyreg ont tendance à être plus élevées, pour les durées de cumul importantes. Cette spécificité due à la différence sensible des approches fréquentielles sera prise en compte dans le calcul des ajustements de Montana ;
- pour les périodes de retour Tr = 2 ans et Tr = 10 ans, les données des stations Saint-Dizier et Cirfontaines-en-Ornois sont assez voisines. Les écarts relatifs sont relativement faibles ;
- concernant la période de retour Tr = 100 ans, le jeu de coefficient de Montana initial de Saint-Dizier majore l'ensemble des autres jeux de données. Météo-France explique cette différence par le fait que les nouvelles données issues des ajustements fréquentiels » GEV-Local Régional » sont plus fines car prenant en compte davantage de données.

Tableau Annexe 3-5 Présentation et comparaison des valeurs pluviométriques médianes de cumul de hauteur de pluie

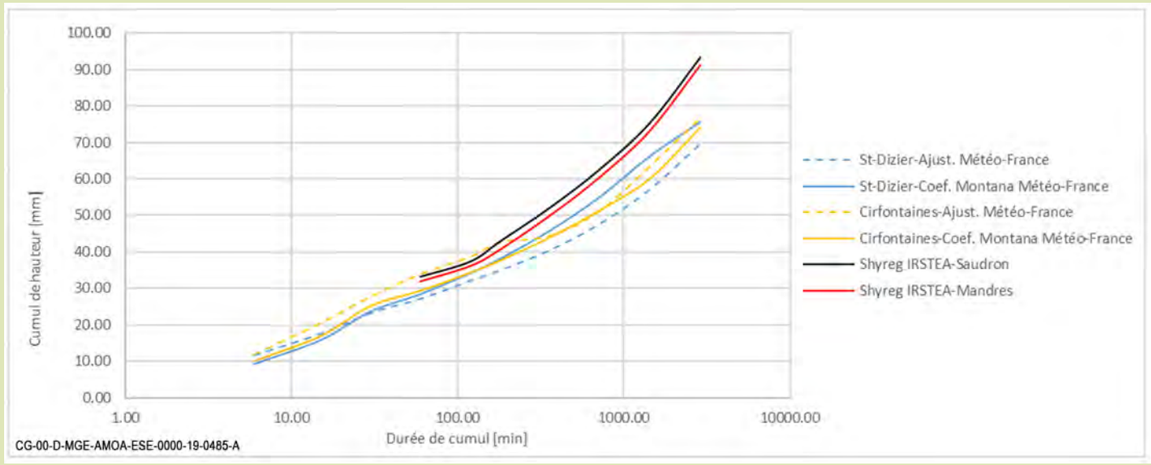
2 ans

Durée [min]	Cumuls de hauteur médians [mm]						Indicateur d'analyse	
	St-Dizier		Cirfontaines		Shyreg IRSTEA			
	Ajust. Météo-France	Coef. Montana Météo-France	Ajust. Météo-France	Coef. Montana Météo-France	Saudron	Mandres	Étendue [mm]	Coefficient de variation [-]
6,00	7,33		7,61				0,29	0,03
15,00	10,57		12,57				2,00	0,12
30,00	13,57		15,84				2,27	0,11
60,00	16,31		19,26		22,86	21,71	6,54	0,14
120,00	19,76		22,31		26,67	25,60	6,90	0,13
180,00	21,91		25,57		30,26	29,22	8,35	0,14
360,00	27,11		29,18		37,79	36,77	10,68	0,16
720,00	33,99		35,61		46,48	45,47	12,50	0,16
1 440,00	42,04		45,29		58,30	57,30	16,26	0,16
2 880,00	50,24		54,20		74,19	73,19	23,95	0,20



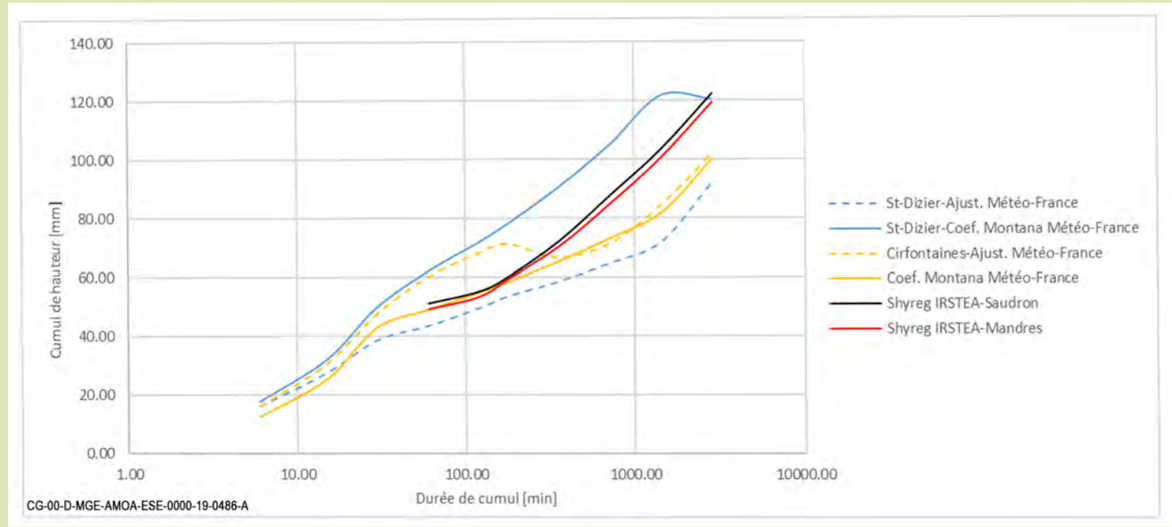
10 ans

Durée [min]	Cumuls de hauteur médians [mm]						Indicateur d'analyse	
	St-Dizier		Cirfontaines		Shyreg IRSTEA			
	Ajust, Météo-France	Coef, Montana Météo-France	Ajust, Météo-France	Coef, Montana Météo-France	Saudron	Mandres	Étendue [mm]	Coefficient de variation [-]
6,00	11,65	9,33	11,79	9,98			2,47	0,11
15,00	17,65	15,87	20,42	16,89			4,55	0,11
30,00	23,24	23,73	27,65	25,14			4,41	0,08
60,00	27,18	28,53	33,87	29,36	33,14	32,00	6,69	0,09
120,00	32,12	34,30	38,61	34,34	37,33	36,27	6,49	0,07
180,00	34,94	38,21	42,57	37,64	42,78	40,70	7,85	0,08
360,00	40,53	45,95	44,37	44,02	52,09	50,04	11,55	0,09
720,00	47,73	55,25	51,27	51,48	62,65	60,63	14,92	0,11
1440,00	57,16	66,43	63,59	60,22	75,39	73,38	18,23	0,11
2 880,00	69,59	75,73	76,66	74,12	93,24	91,24	23,65	0,12



100 ans

Durée [min]	Cumuls de hauteur médians [mm]						Indicateur d'analyse	
	St-Dizier		Cirfontaines		Shyreg IRSTEA			
	Ajust. Météo-France	Coef. Montana Météo-France	Ajust. Météo-France	Coef. Montana Météo-France	Saudron	Mandres	Étendue [mm]	Coefficient de variation [-]
6,00	16,27	17,84	16,38	12,66			5,18	0,14
15,00	27,61	32,07	30,74	25,46			6,61	0,10
30,00	38,74	49,97	47,89	43,17			11,23	0,11
60,00	43,51	62,05	60,18	49,13	51,43	49,14	18,54	0,14
120,00	49,55	71,88	68,31	54,93	55,47	53,33	22,33	0,15
180,00	53,61	78,33	71,33	58,64	60,52	59,48	24,72	0,15
360,00	58,60	90,73	66,78	65,56	72,51	70,47	32,13	0,15
720,00	64,66	105,09	71,56	73,30	87,92	84,88	40,43	0,18
1 440,00	71,86	121,73	84,57	81,96	103,54	100,52	49,87	0,19
2 880,00	92,05	120,45	102,00	100,15	122,32	119,31	30,26	0,12



3.2.2 Commentaires sur les nouveaux ajustements de Montana

Les tableaux suivants montrent, pour chaque jeu de données brutes fournies par Météo-France, le biais introduit par l'ajustement de Montana, pour chaque période de retour (Tr = 2 ; 10 et 100 ans), Les données sont présentées en termes de cumul de hauteur d'eau.

Les cases en surbrillance de couleur rouge correspondent à un coefficient de variation supérieure à 10 % entre la donnée ajustée de Montana et la donnée brute de cumul de hauteur de pluie.

L'analyse de ses tableaux révèle les points suivants :

- ✓ toute chose égale par ailleurs, le biais introduit par les ajustements de Montana est souvent plus important pour les ajustements majorants effectués sur les données majorantes (*i.e.* Borne supérieure à 95 % de l'intervalle de confiance) que les ajustements moyens effectués sur des données médianes ;
- ✓ du fait de la bonne « régularité » des jeux de données brutes ou par la combinaison des jeux de données brutes, le biais introduit par les différents ajustements de Montana est relativement modeste.

Période de retour – Tr = 2 ans

Tableau Annexe 3-6 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy			Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	7,61	7,61	0,00	0,00	7,61	0,00	0,00
15	12,57	12,55	0,01	0,00	12,75	0,13	0,01
30	15,84	16,92	0,77	0,05	18,84	2,12	0,12
60	22,86	21,16	1,20	0,05	23,20	0,24	0,01
120	26,67	26,47	0,14	0,01	28,56	1,34	0,05
180	30,26	30,17	0,06	0,00	32,26	1,42	0,05
360	37,79	37,73	0,04	0,00	39,73	1,37	0,04
720	46,48	47,19	0,50	0,01	48,93	1,73	0,04
1 440	58,30	59,02	0,51	0,01	60,25	1,38	0,02
2 880	74,19	73,81	0,27	0,00	74,19	0,00	0,00

Remarque : Les données en surbrillance rouge correspondent à un coefficient de variation supérieure à 10 % entre la valeur de cumul de pluie issue de l'ajustement de Montana et la valeur de cumul de pluie brute.

Tableau Annexe 3-7 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr _SUP95_ING_Moy			Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr _SUP95_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	9,12	9,12	0,00	0,00	9,12	0,00	0,00
15	15,17	15,03	0,10	0,01	15,28	0,08	0,01
30	19,64	18,96	0,48	0,02	19,64	0,00	0,00
60	23,87	23,17	0,49	0,02	24,04	0,12	0,00
120	27,29	28,31	0,72	0,03	29,41	1,50	0,05
180	31,00	31,83	0,59	0,02	33,10	1,48	0,05
360	37,79	38,90	0,79	0,02	40,50	1,92	0,05
720	46,48	47,53	0,74	0,02	49,55	2,17	0,05
1 440	58,30	58,09	0,15	0,00	60,63	1,65	0,03
2 880	74,19	70,98	2,27	0,03	74,19	0,00	0,00

Tableau Annexe 3-8 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Saint-Dizier

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr _MED_ING_Moy			St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr _MED_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	7,33	7,33	0,00	0,00	7,33	0,00	0,00
15	10,57	10,57	0,00	0,00	10,57	0,00	0,00
30	13,57	13,28	0,21	0,02	13,67	0,07	0,01
60	16,31	16,26	0,04	0,00	16,72	0,29	0,02
120	19,76	19,92	0,11	0,01	20,45	0,48	0,02
180	21,91	22,43	0,36	0,02	23,00	0,77	0,03
360	27,11	27,47	0,25	0,01	28,13	0,72	0,03
720	33,99	33,64	0,24	0,01	34,40	0,29	0,01
1 440	42,04	41,20	0,60	0,01	42,07	0,02	0,00
2 880	50,24	50,46	0,15	0,00	51,44	0,85	0,02

Tableau Annexe 3-9 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Saint-Dizier

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr _SUP95_ING_Moy			St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr _SUP95_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	8,42	8,42	0,00	0,00	8,42	0,00	0,00
15	12,27	12,24	0,02	0,00	12,32	0,03	0,00
30	15,83	15,50	0,23	0,01	16,01	0,13	0,01
60	18,81	18,77	0,02	0,00	19,37	0,40	0,02
120	22,61	22,74	0,09	0,00	23,44	0,59	0,03
180	24,88	25,44	0,39	0,02	26,21	0,94	0,04
360	30,24	30,81	0,40	0,01	31,72	1,04	0,03
720	37,35	37,32	0,02	0,00	38,38	0,73	0,02
1 440	46,09	45,20	0,63	0,01	46,45	0,25	0,01
2 880	54,90	54,75	0,11	0,00	56,20	0,92	0,02

Période de retour – Tr = 10 ans

Tableau Annexe 3-10 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr_MED_ING_Moy			Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	11,79	12,01	0,15	0,01	11,79	0,00	0,00
15	20,42	19,53	0,63	0,03	20,46	0,03	0,00
30	27,65	27,17	0,34	0,01	28,35	0,49	0,02
60	33,87	32,65	0,87	0,03	33,97	0,07	0,00
120	38,61	39,24	0,44	0,01	40,70	1,48	0,04
180	42,78	43,69	0,64	0,01	45,24	1,74	0,04
360	52,09	52,51	0,30	0,01	54,21	1,50	0,03
720	62,65	63,11	0,32	0,01	64,95	1,62	0,03
1 440	75,39	75,84	0,32	0,00	77,82	1,72	0,02
2 880	93,24	91,14	1,48	0,02	93,24	0,00	0,00

Tableau Annexe 3-11 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr_SUP95_ING_Moy			CirfontainesG2_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	14,23	14,44	0,15	0,01	14,23	0,00	0,00
15	24,93	24,10	0,59	0,02	24,94	0,01	0,00
30	34,84	35,51	0,47	0,01	37,05	1,57	0,04
60	42,54	41,98	0,40	0,01	42,63	0,06	0,00
120	48,45	47,92	0,38	0,01	49,04	0,42	0,01
180	52,34	51,77	0,40	0,01	53,23	0,63	0,01
360	52,48	59,09	4,68	0,08	61,24	6,19	0,11
720	62,65	67,45	3,39	0,05	70,45	5,51	0,08
1 440	75,39	76,99	1,13	0,01	81,05	4,00	0,05
2 880	93,24	87,88	3,79	0,04	93,24	0,00	0,00

***Remarque** : Les données en surbrillance rouge correspondent à un coefficient de variation supérieure à 10 % entre la valeur de cumul de pluie issue de l'ajustement de Montana et la valeur de cumul de pluie brute.*

Tableau Annexe 3-12 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Saint-Dizier

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr_MED_ING_Moy			St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr_MED_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	11,65	11,64	0,00	0,00	11,65	0,00	0,00
15	17,65	17,63	0,02	0,00	17,65	0,00	0,00
30	23,24	22,98	0,18	0,01	23,26	0,01	0,00
60	27,18	27,08	0,07	0,00	27,47	0,20	0,01
120	32,12	31,90	0,16	0,00	32,44	0,23	0,01
180	34,94	35,11	0,12	0,00	35,76	0,58	0,02
360	40,53	41,37	0,59	0,01	42,24	1,20	0,03
720	47,73	48,73	0,71	0,01	49,89	1,52	0,03
1 440	57,16	57,42	0,18	0,00	58,92	1,24	0,02
2 880	69,59	67,64	1,38	0,02	69,59	0,00	0,00

Tableau Annexe 3-13 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Saint-Dizier

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr_SUP95_ING_Moy			St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr_SUP95_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	13,54	13,54	0,00	0,00	13,54	0,00	0,00
15	20,78	20,71	0,05	0,00	20,88	0,07	0,00
30	27,58	27,31	0,19	0,01	27,68	0,07	0,00
60	31,88	31,74	0,09	0,00	32,30	0,30	0,01
120	37,32	36,90	0,30	0,01	37,69	0,26	0,01
180	40,27	40,30	0,03	0,00	41,26	0,70	0,02
360	45,76	46,86	0,78	0,02	48,14	1,69	0,04
720	52,94	54,47	1,09	0,02	56,18	2,29	0,04
1 440	62,60	63,33	0,51	0,01	65,56	2,09	0,03
2 880	76,50	73,62	2,04	0,03	76,50	0,00	0,00

Remarque *: Les données en surbrillance rouge correspondent à un coefficient de variation supérieure à 10 % entre la valeur de cumul de pluie issue de l'ajustement de Montana et la valeur de cumul de pluie brute.*

Période de retour – Tr = 100 ans

Tableau Annexe 3-14 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	CirfontainesG2_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy			CirfontainesG2_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	16,38	16,46	0,09	0,00	16,38	0,00	0,00
15	30,74	30,29	-0,44	0,01	30,74	0,00	0,00
30	47,89	48,05	0,16	0,00	49,48	1,60	0,02
60	60,18	59,61	-0,57	0,01	61,42	1,24	0,01
120	68,31	67,74	-0,57	0,01	69,49	1,18	0,01
180	71,33	73,00	1,67	0,02	74,69	3,36	0,03
360	72,51	82,95	10,44	0,09	84,49	11,98	0,11
720	87,92	94,26	6,34	0,05	95,58	7,66	0,06
1 440	103,54	107,11	3,57	0,02	108,13	4,59	0,03
2 880	122,32	121,71	-0,61	0,00	122,32	0,00	0,00

Remarque *: Les données en surbrillance rouge correspondent à un coefficient de variation supérieure à 10 % entre la valeur de cumul de pluie issue de l'ajustement de Montana et la valeur de cumul de pluie brute.*

Tableau Annexe 3-15 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy			Cirfontaines_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	20,45	20,41	-0,04	0,00	20,45	0,00	0,00
15	39,55	39,63	0,08	0,00	39,87	0,32	0,01
30	65,91	65,46	-0,45	0,00	66,08	0,17	0,00
60	83,12	85,11	1,99	0,02	88,35	5,23	0,04
120	93,45	90,91	-2,55	0,02	93,65	0,19	0,00
180	94,57	94,48	-0,09	0,00	96,89	2,32	0,02
360	84,06	100,92	16,86	0,13	102,71	18,65	0,14
720	87,92	107,79	19,88	0,14	108,87	20,95	0,15
1 440	103,54	115,14	11,60	0,08	115,40	11,86	0,08
2 880	122,32	122,98	0,67	0,00	122,32	0,00	0,00

Remarque *: Les données en surbrillance rouge correspondent à un coefficient de variation supérieure à 10 % entre la valeur de cumul de pluie issue de l'ajustement de Montana et la valeur de cumul de pluie brute.*

Tableau Annexe 3-16 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Saint-Dizier

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_ GEVlr_MED_ING_Moy			St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	16,27	16,27	0,00	0,00	16,27	0,00	0,00
15	27,61	26,74	-0,87	0,02	27,93	0,32	0,01
30	38,74	38,45	-0,28	0,01	39,05	0,31	0,01
60	43,51	43,43	-0,08	0,00	44,48	0,97	0,02
120	49,55	49,06	-0,49	0,01	50,67	1,12	0,02
180	53,61	52,68	-0,93	0,01	54,68	1,07	0,01
360	58,60	59,51	0,90	0,01	62,29	3,68	0,04
720	64,66	67,21	2,55	0,03	70,95	6,29	0,07
1 440	71,86	75,92	4,06	0,04	80,81	8,96	0,08
2 880	92,05	85,75	-6,31	0,05	92,05	0,00	0,00

Tableau Annexe 3-17 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne, Sup , de l'IC – Station de Saint-Dizier

Durée de Cumul [min]	Jeu de données brutes	St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy			St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj		
	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]	Cumul de hauteur d'eau [mm]	Différence [mm]	Coefficient de variation [-]
6	19,53	19,53	0,00	0,00	19,53	0,00	0,00
15	34,44	34,29	-0,15	0,00	34,45	0,01	0,00
30	49,98	49,15	-0,83	0,01	50,43	0,45	0,01
60	54,83	54,71	-0,11	0,00	56,39	1,57	0,02
120	61,09	60,91	-0,18	0,00	63,06	1,97	0,02
180	66,35	64,86	-1,49	0,02	67,32	0,97	0,01
360	70,17	72,20	2,04	0,02	75,28	5,11	0,05
720	74,77	80,38	5,61	0,05	84,18	9,41	0,08
1 440	80,45	89,49	9,04	0,08	94,14	13,68	0,11
2 880	105,27	99,62	-5,64	0,04	105,27	0,00	0,00

***Remarque** : Les données en surbrillance rouge correspondent à un coefficient de variation supérieure à 10 % entre la valeur de cumul de pluie issue de l'ajustement de Montana et la valeur de cumul de pluie brute.*

Tableau Annexe 3-18 Résultats du dimensionnement du bassin écrêteur

N° ligne	Ajustement fréquentiel		Ajustement Montana		Cirfontaines-en-Ornois				St-Dizier			
					Méthode des pluies à débit de fuite constant		Méthode des pluies à débit de fuite variable		Méthode des pluies à débit de fuite constant		Méthode des pluies à débit de fuite variable	
	Org,	Type	Org,	Type	Volume bassin [m³]	Temps vol, max, [min]	Volume bassin [m³]	Temps vol, max, [min]	Volume bassin [m³]	Durée de cumul de remplissage maximal [min]	Volume bassin [m³]	Temps vol, max, [min]
1	Météo-France	Médian	Météo-France	Moyen	13 140	206	14 204	335	19 362	426	21 593	713
2	Météo-France	Médian	Ingérop	Moyen	17 297	320	18 957	526	11 578	202	12 623	330
3	Météo-France	Médian	Ingérop	Maj	17 708	314	19 332	514	12 150	230	13 345	379
4	Météo-France	Sup 95 %	Ingérop	Moy	22 491	194	23 470	303	14 792	222	15 933	358
5	Météo-France	Sup 95 %	Ingérop	Maj	23 117	174	23 993	270	15 492	244	16 748	395

Les résultats du tableau ci-avant montrent une grande variabilité des volumes de bassin suivant les méthodes et jeu de coefficients de Montana choisis. Le tableau ci-après fournit quelques clés de comparaison entre jeux de coefficients. Les différences par rapport au dimensionnement de base effectué à la station de Saint-Dizier s'expliquent du fait des raisons suivantes :

- prise en compte des hauteurs correspondant à la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % ;
- prise en compte d'un ajustement majorant de Montana sur les valeurs de hauteur brutes ;
- prise en compte des différences entre les ajustements fréquentiels médians fournis par Météo-France ;
- prise en compte de la méthode des pluies à débit variable.

Tableau Annexe 3-19 Synthèse des résultats du dimensionnement du bassin écrêteur

Comparaison	Cirfontaines-en-Ornois				St-Dizier			
	Méthode des pluies à débit de fuite constant		Méthode des pluies à débit de fuite variable		Méthode des pluies à débit de fuite constant		Méthode des pluies à débit de fuite variable	
	Différence absolue [m³]	Différence relative [%/val, Init,]	Différence absolue [m³]	Différence relative [%/val, Init,]	Différence absolue [m³]	Différence relative [%/val, Init,]	Différence absolue [m³]	Différence relative [%/val, Init,]
Ajustements médians (ligne 2 et ligne 1)	4156	32	4753,661	33,468	-7783	-40	-8970	-42
Données de base médianes - ajustements différents (ligne 3 et ligne 2)	411	2	374,856	1,977	572	5	721	6
Données de base 95 % différentes - ajustements moyens (ligne 4 et ligne 2)	5194	30	4512,422	23,803	3214	28	3309	26
Données de base 95 % - ajustements différents (ligne 5 et ligne 4)	626	3	523,591	2,231	700	5	815	5

Globalement, l'analyse des valeurs du tableau précédent révèle les points suivants :

- la sensibilité du choix du jeu de coefficient de Montana, toute chose égale par ailleurs (*i.e.* Méthode des pluies, intervalle de confiance, type d'ajustements, données brutes – La comparaison s'effectue donc par ligne), s'avère relativement élevée ;
- les ajustements de Montana de base de Météo-France étant relativement différents entre les stations de Saint-Dizier et Cirfontaines-en-Ornois, il n'est pas surprenant d'observer des écarts en termes de volume de bassin.

Annexe 4 Définition des pluies centennales de référence

4.1 Pluies centennales utilisées pour les dimensionnements

- **objectif**

  Les pluies dimensionnantes pour les réseaux de collecte utilisées dans le cadre des modélisations hydrauliques des sous-systèmes du projet global Cigéo seront des pluies de projet du type « double-triangulaire ». Il s'agit d'un des types de pluies préconisées par le guide ASN n° 13 (100).

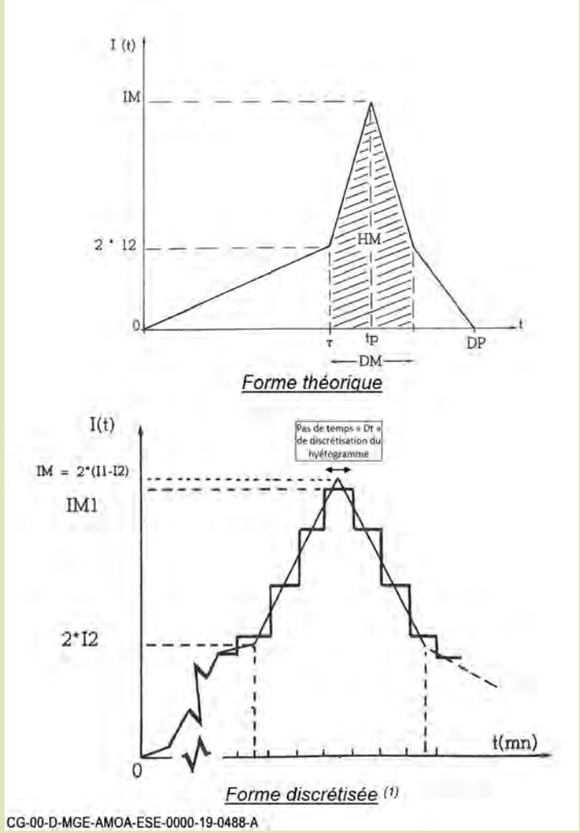
  La conception de cette pluie repose sur le fait que la forme des averses est très variable (et aléatoire) alors que celle des hydrogrammes l'est beaucoup moins, le bassin versant et son réseau de drainage jouant un rôle de filtre. Il convient donc de s'intéresser aux paramètres de la pluie ayant une réelle influence sur le ruissellement. Ce sont ses paramètres qui serviront de base de construction à la pluie de projet de forme « double-triangle ».

  Le contenu de ce chapitre vise à expliciter la méthodologie utilisée pour la définition de ces hyétogrammes de projet et à présenter plusieurs hyétogrammes de pluie ;

- **méthodologie**

  Une pluie de projet double-triangulaire se conçoit formellement à partir de la donnée des cinq paramètres de conception définis ci-après. L'hyétogramme est ensuite discrétisé selon un pas de temps judicieusement choisi.

Tableau Annexe 4-1 Formalisme de la pluie de projet double-triangulaire



Coordonnées des sommets du hyétogramme de pluie (numérotation de gauche à droite)	
$A(1) = 0$	$O(1) = 0$
$A(2) = \Theta \times (DP - DM)$	$O(2) = 2 \times I_2$
$A(3) = A(2) + \frac{DM}{2}$	$O(3) = IM = 2 \times (I_1 . I_2)$
$A(4) = A(2) + DM)$	$O(4) = 2 \times I_2$
$A(5) = 0$	$O(5) = 0$
Avec :	
$I_1 = \frac{HM}{DM}$	Intensité moyenne sur la période intense
$I_2 = \frac{HT - HM}{DP - DM}$	Intensité moyenne sur la période complémentaire

Rmq : Les points caractéristiques sont déterminés de la manière suivante :

Pics secondaires

On a avec I_x = valeur du « Pic secondaire » :

$$V_{pluie.période\ complémentaire} = HT - HM$$
$$= \frac{(DP - DM) \times I_x}{2}$$
$$I_x = 2\frac{(HT - HM)}{(DP - DM)} = 2 \times I_2$$

Pic principal

On a I_x = valeur du « Pic principal » :

$$V_{pluie.période\ intense} = HM$$
$$HM = 2.I_2 DM + (IM - 2.I_2)\frac{DM}{2}$$
$$HM = DM(I_2 - \frac{IM}{2})$$
$$I_1 = I_2 - \frac{IM}{2}$$
$$2(I_1 - I_2) = IM$$

- DP [min] : Durée totale de la pluie ;
- DM [min] : Durée de la période intense ;
- HT [mm] : Hauteur de pluie précipitée sur la durée totale ;
- HM [mm] : Hauteur précipité sur la période intense ;
- Θ [-] : Paramètre de décentrage, position de la période intense ;
- Dt [-] : Paramètre de discrétisation du hyétogramme[1].

[1] L'hyétogramme discrétisé constitue en pratique l'hyétogramme utilisé. En effet, c'est sous cette forme seulement que les calculs sont possibles aisément. L'opération de discrétisation consiste simplement à calculer l'intensité moyenne de pluie sur un pas de temps donné.

Les paramètres de dimensionnement sont définis ci-après.

Tableau Annexe 4-2 Illustration d'une pluie de projet double-triangulaire et de ses paramètres dimensionnants

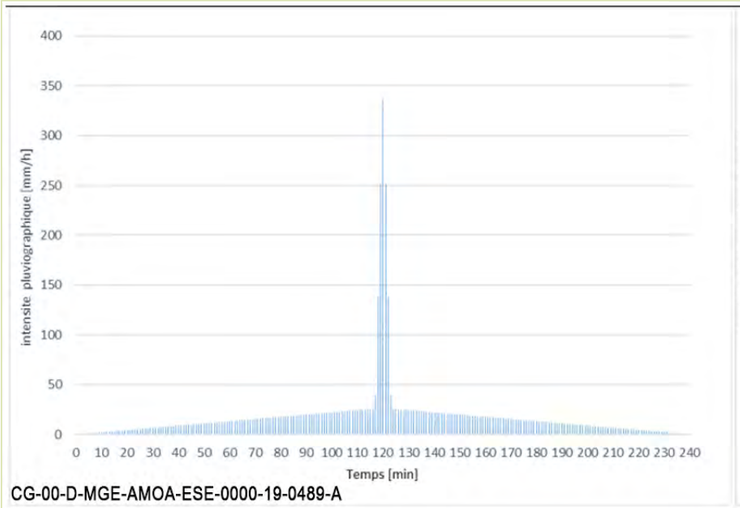
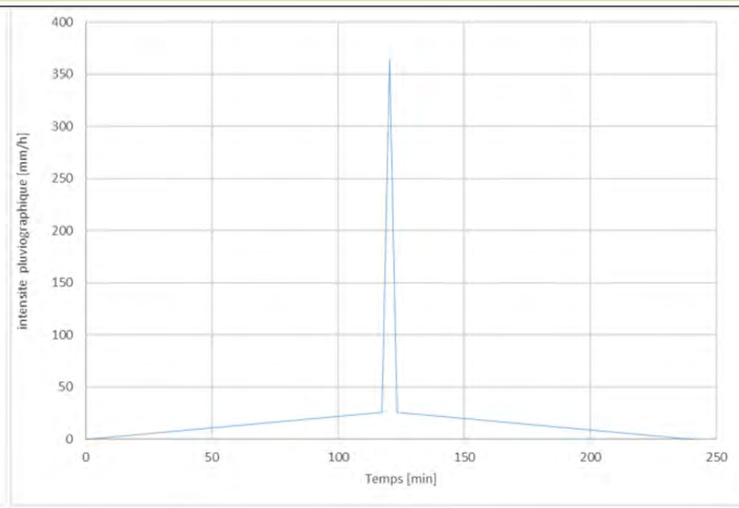
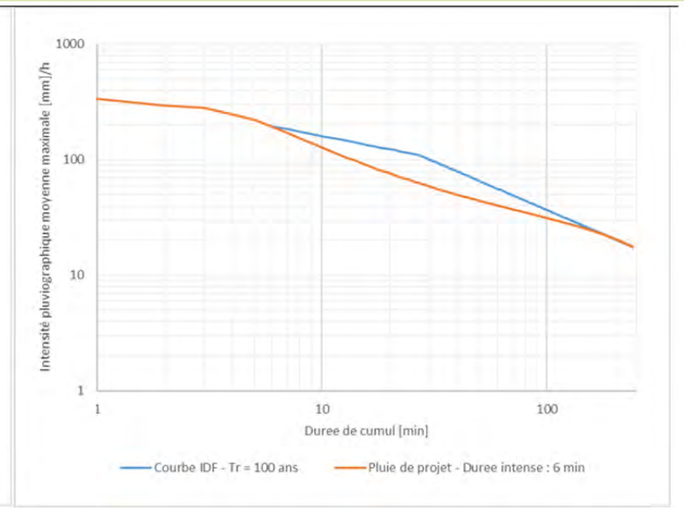
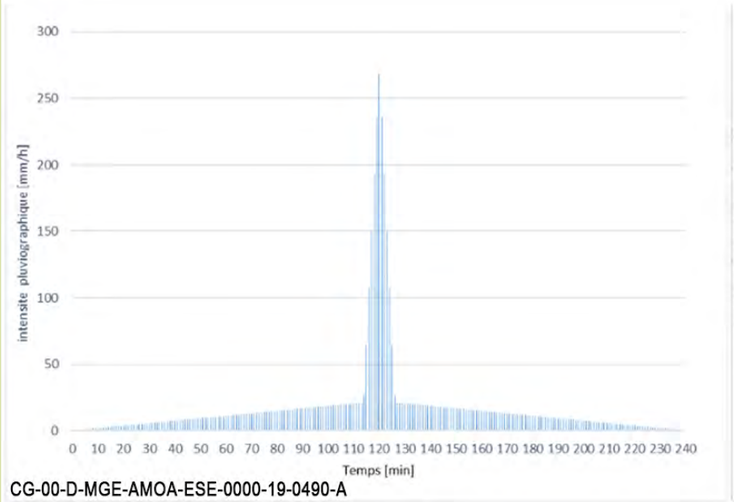
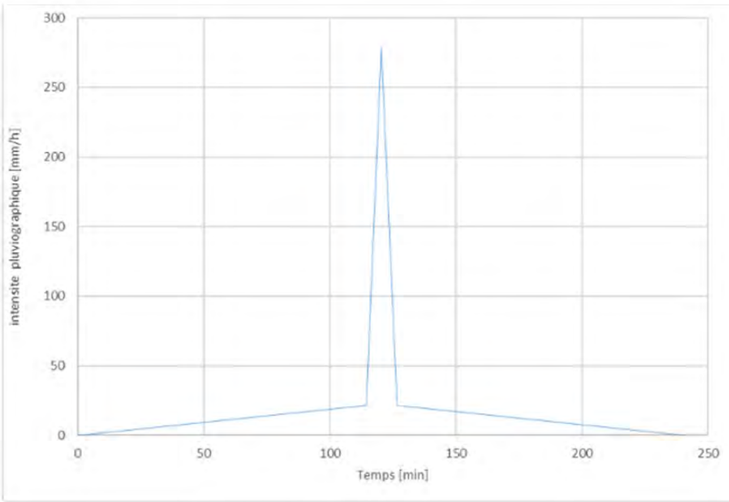
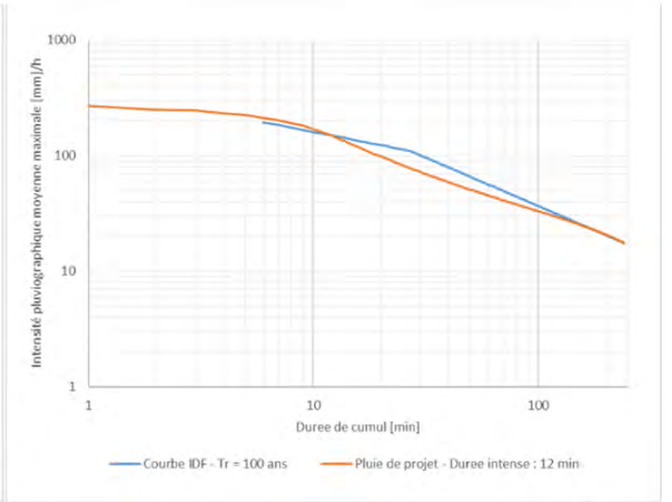
Paramètre de dimensionnement		Calcul	Motivations du choix	Sensibilité du paramètre sur le ruissellement
Forme de la pluie			Toute variable fixée par ailleurs (*i.e.* Paramètres HT, HM et Θ), la forme de la pluie (triangulaire ou exponentielle – Keiffer) a peu d'influence sur le débit de pointe obtenu. La pluie double-triangulaire est néanmoins plus simple à mettre en œuvre.	Faible
Durée totale de la pluie	**DP [min]**	Fixée à 4H	La durée totale de la pluie n'a que peu d'importance. La variation relative du débit de pointe n'est que de 2 % lorsque la durée totale de la pluie passe de 2 à 4 H.	Faible
Durée de la période intense	**DM [min]**	Variable	Il s'agit de la variable la plus influente sur le débit à l'exutoire. Classiquement, les ouvrages de référence préconisent l'emploi de plusieurs valeurs de DM de manière à retenir celle qui conduit au débit de pointe maximal à l'exutoire. En pratique, pour les dimensionnements relatifs au projet global Cigéo, les valeurs de DM comprises entre six minutes et le temps de concentration maximale du réseau sont testées pour ne retenir que la valeur de DM la plus pénalisante pour le fonctionnement du réseau de collecte des eaux pluviales.	Élevée
Hauteur de pluie précipitée sur la durée totale	**HT [mm]**	Déterminée à partir du jeu de coefficients Montana de référence valable sur la durée totale		Élevée
Hauteur précipitée sur la période intense	**HM [mm]**	Déterminée à partir du jeu de coefficients Montana de référence valable sur la durée totale		Élevée
Paramètre de décentrage, position de la période intense	**Θ [-]**	Fixé à Θ = 0,5		Moyenne
Paramètre de discrétisation du hyétogramme	**Dt [-]**	Fixé à 1 minute	L'hyétogramme discrétisé – utilisable en modélisation - constitue une approximation du véritable hyétogramme de pluie. Afin de n'être pas trop impactant sur le débit de pointe en réseau, il est préconisé de respecter le ratio « DM/DT ≥6 ». Cette discrétisation à une minute du hyétogramme de pluie réelle ne serait pas possible avec le formalisme de la pluie de Keiffer.	Élevée

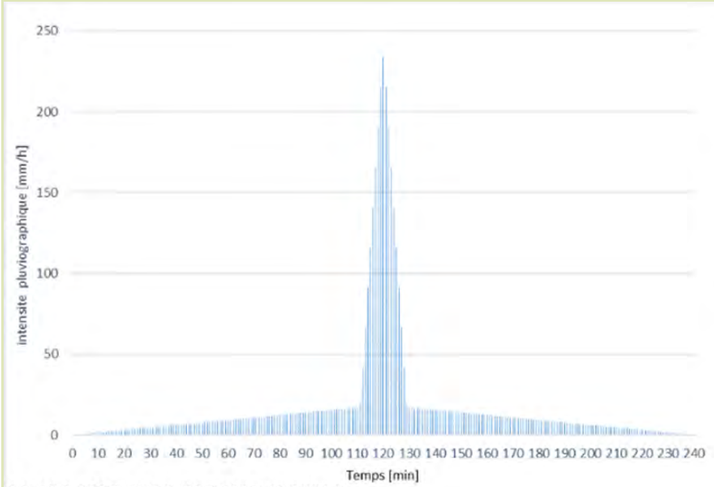
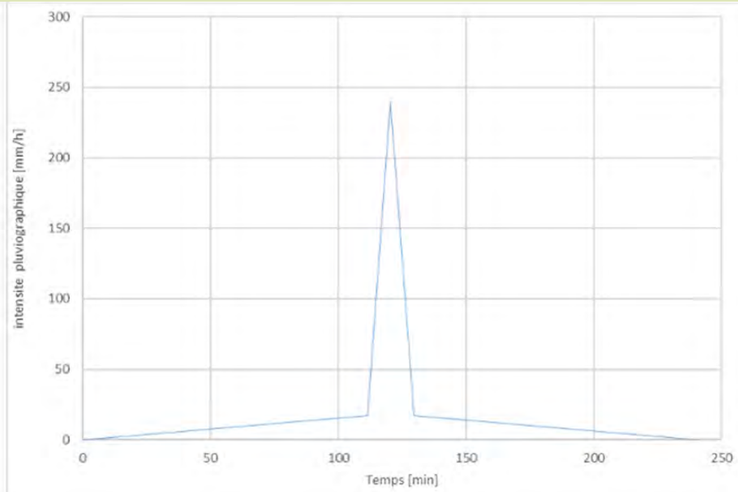
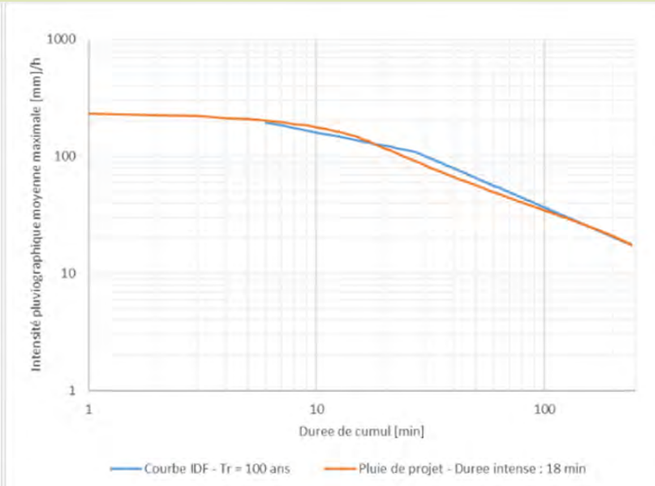
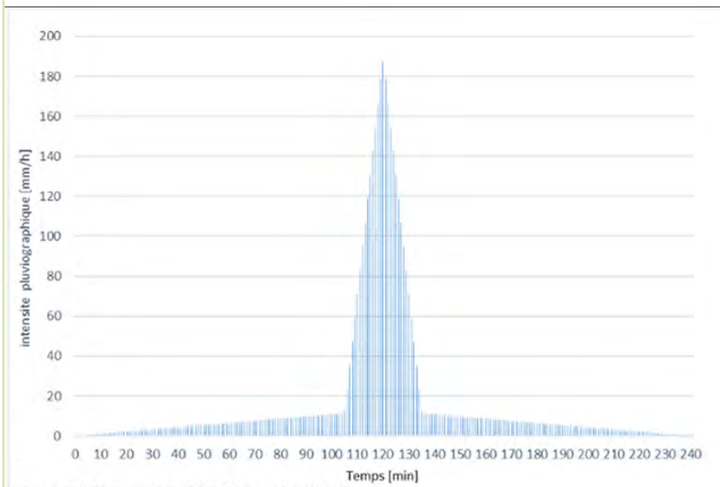
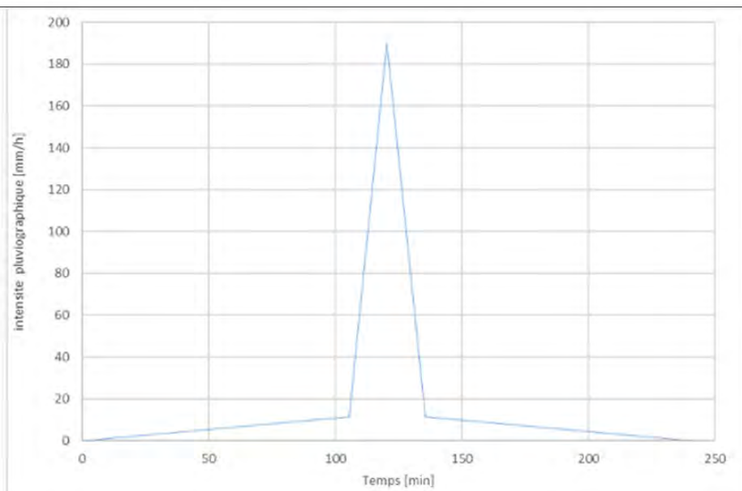
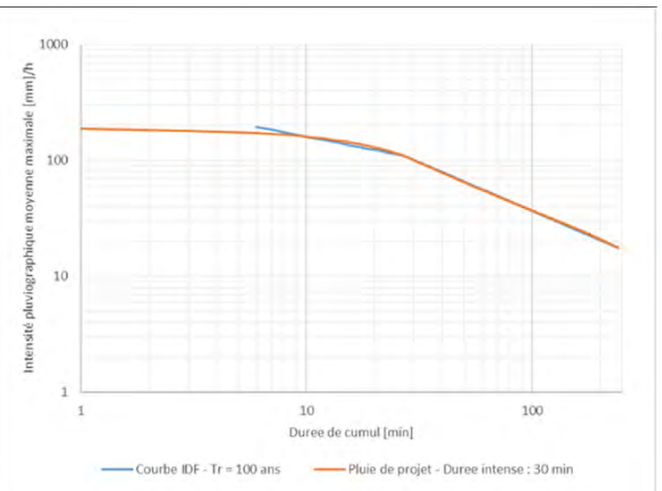
4.1.1 Résultats

Les pluies sont présentées sous la forme suivante :

- graphique et tableau pour le hyétogramme instantané ;
- graphique et tableau pour le hyétogramme discrétisé (les données tabulées des hyétogrammes discrétisés sont visibles en annexe) ;
- graphique de la projection des pluies de projet sur un axe Intensité-Durée-Fréquence.

Tableau Annexe 4-3 Pluies de projet – Station de Saint-Dizier

Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisée sur un axe IDF
6			
12			

Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisée sur un axe IDF
18	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0491-A		
30	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0492-A		

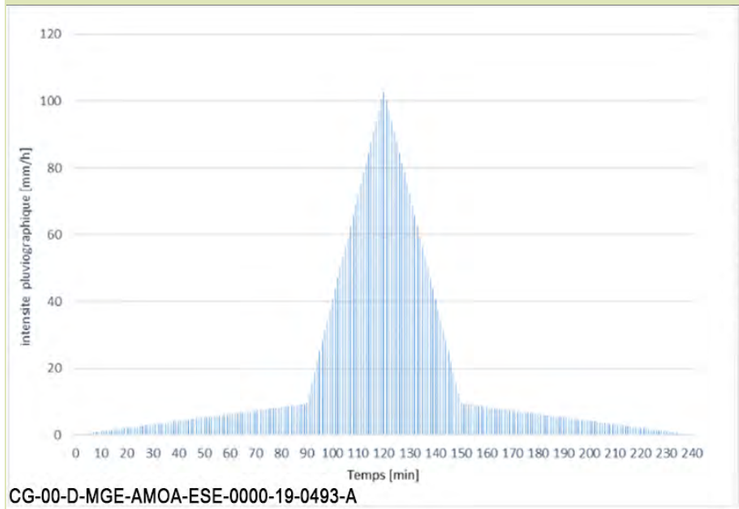
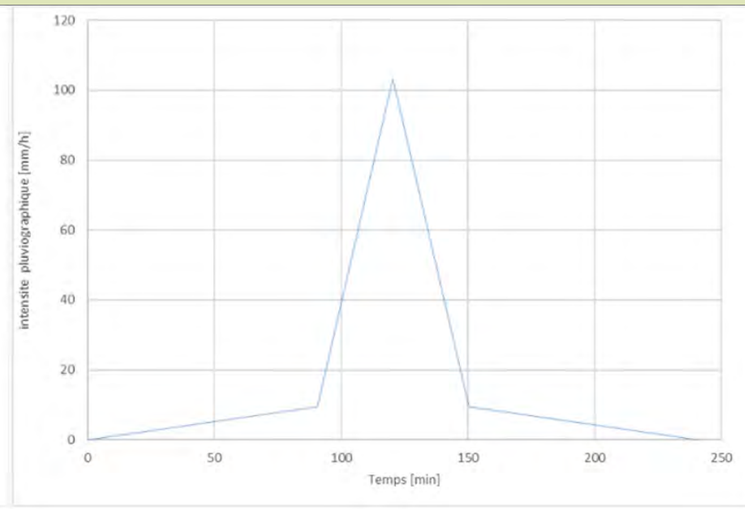
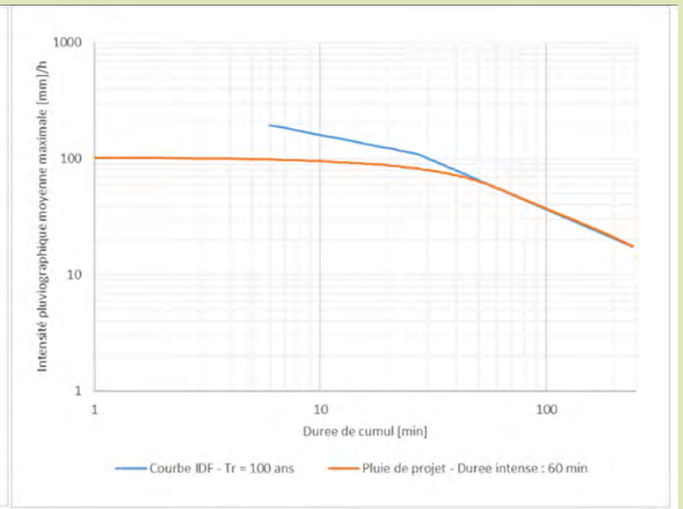
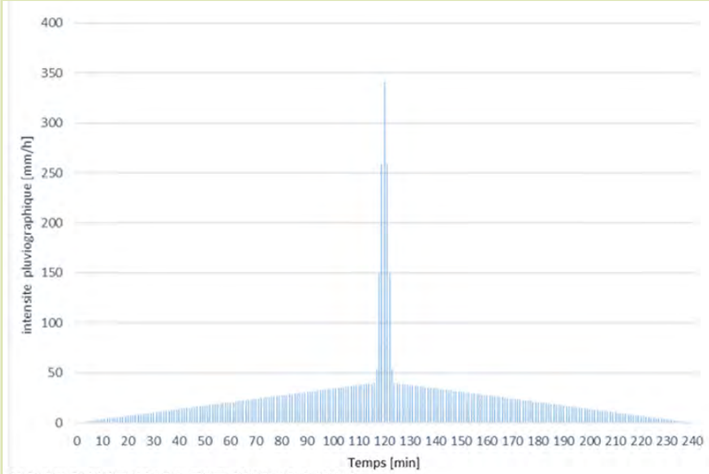
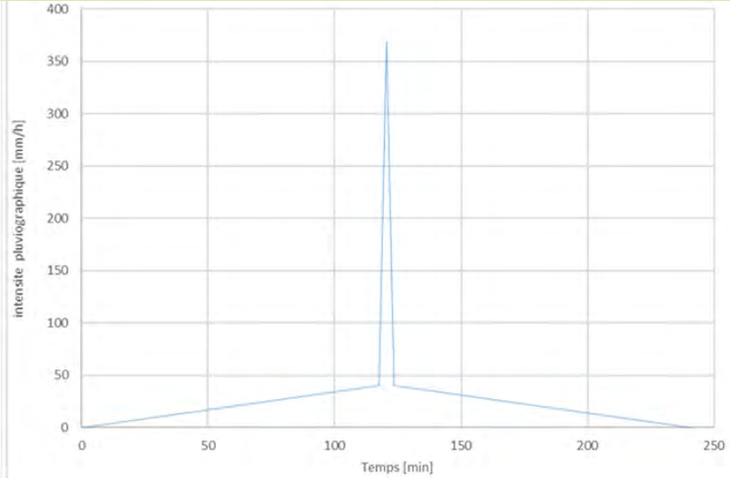
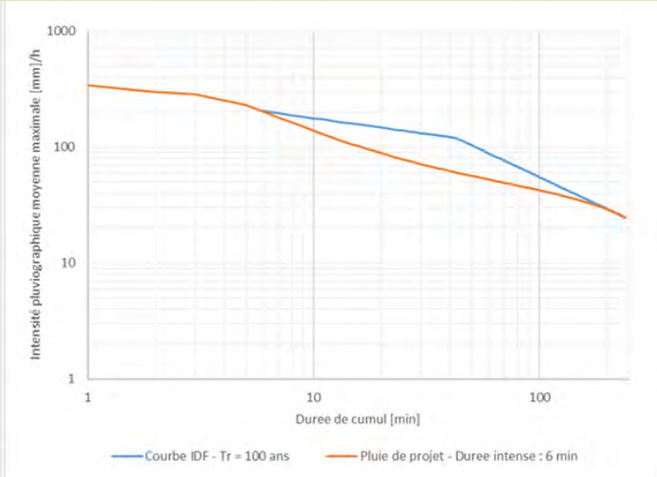
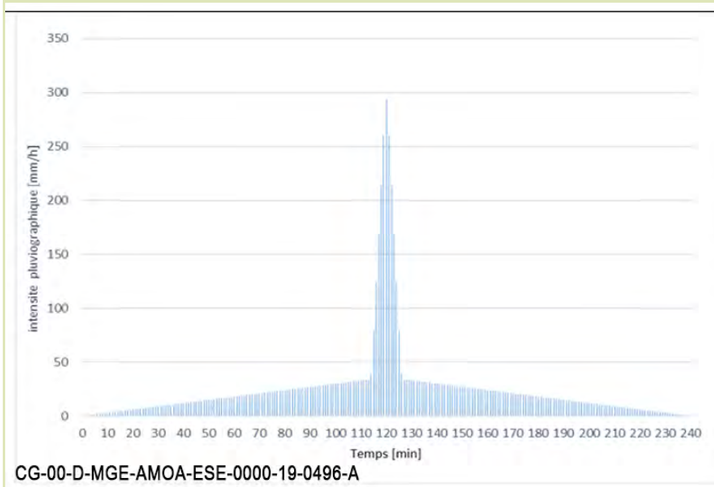
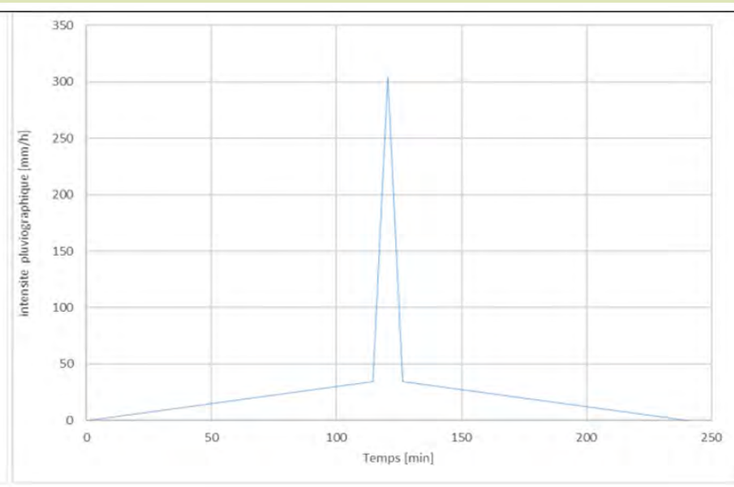
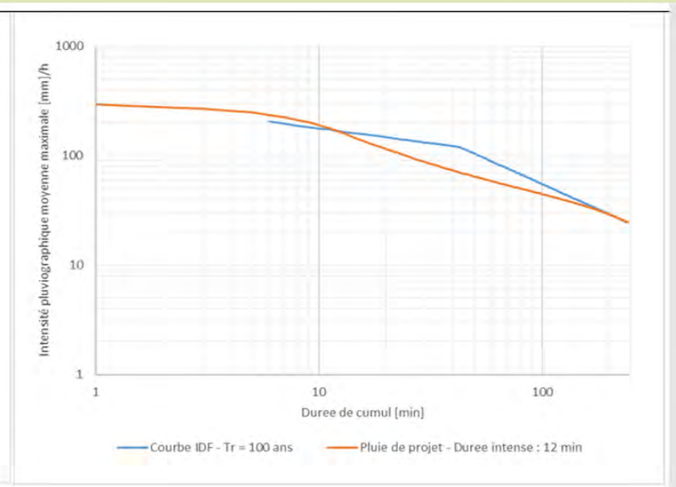
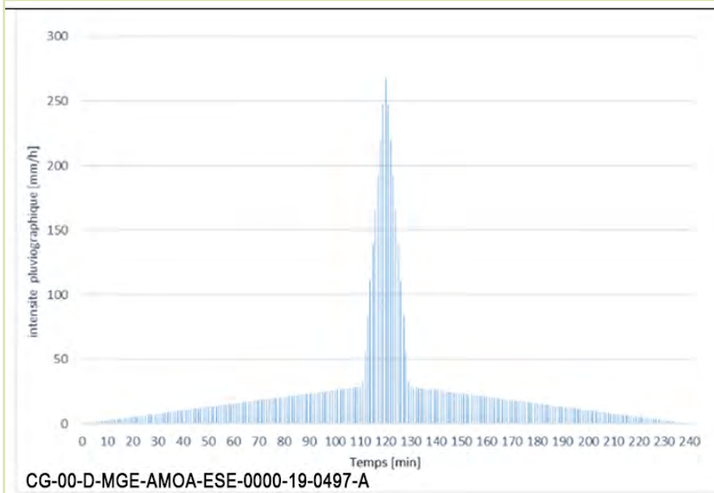
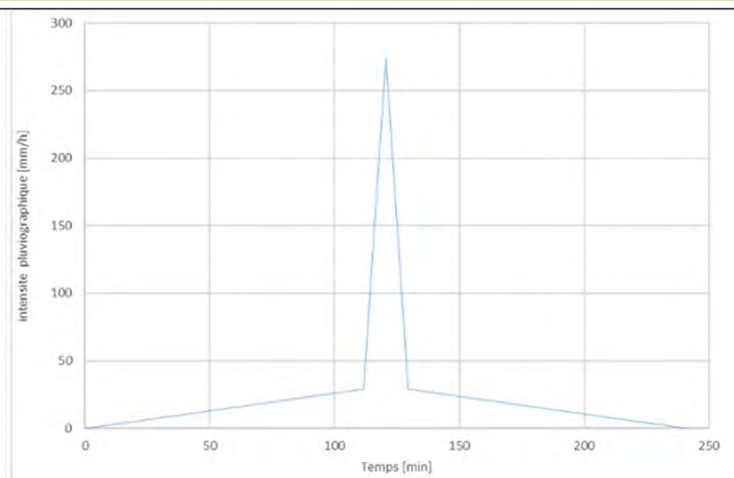
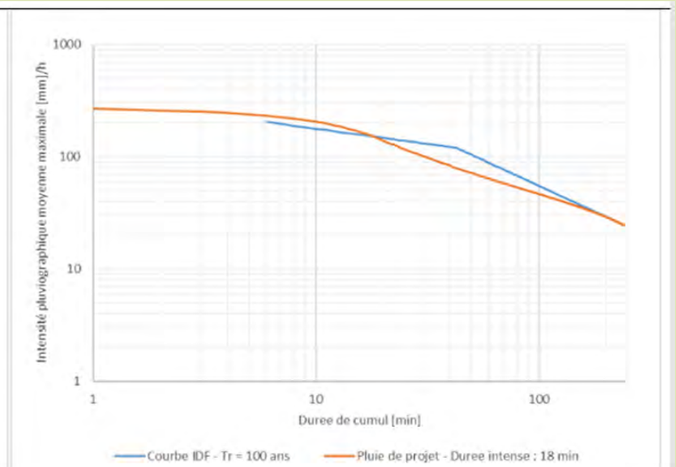
Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisée sur un axe IDF
60	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0493-A		

Tableau Annexe 4-4 Pluies de projet – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisé sur un axe IDF
6	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0494-A		

Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisé sur un axe IDF
12	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0496-A		
18	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0497-A		

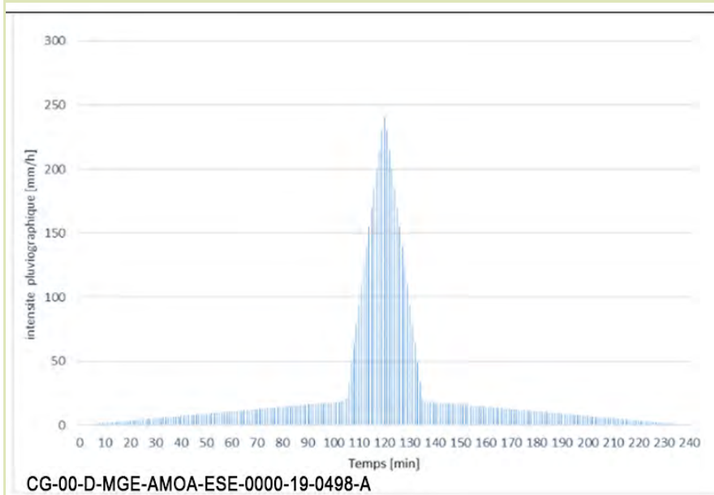
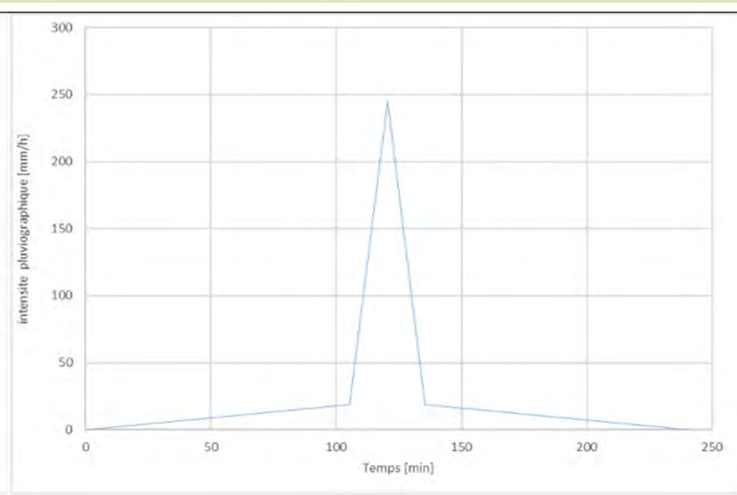
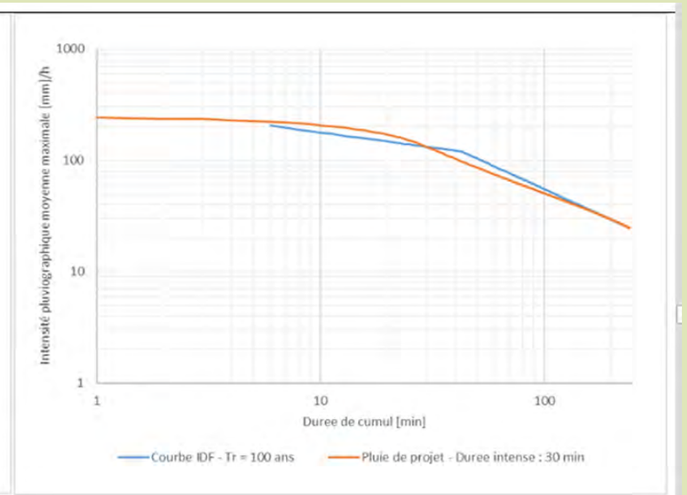
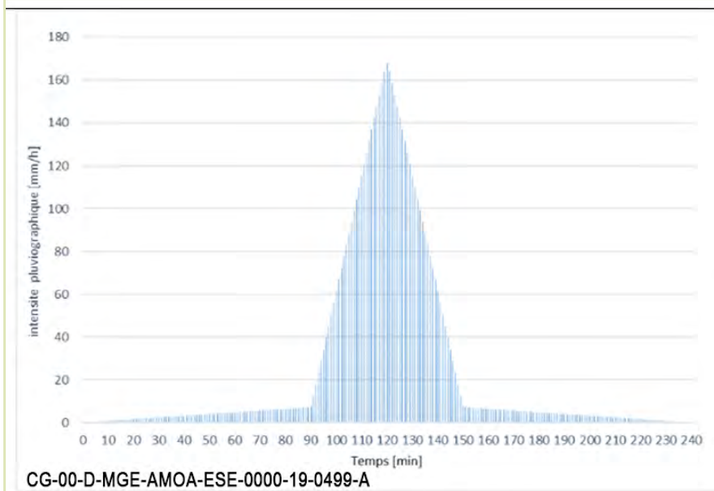
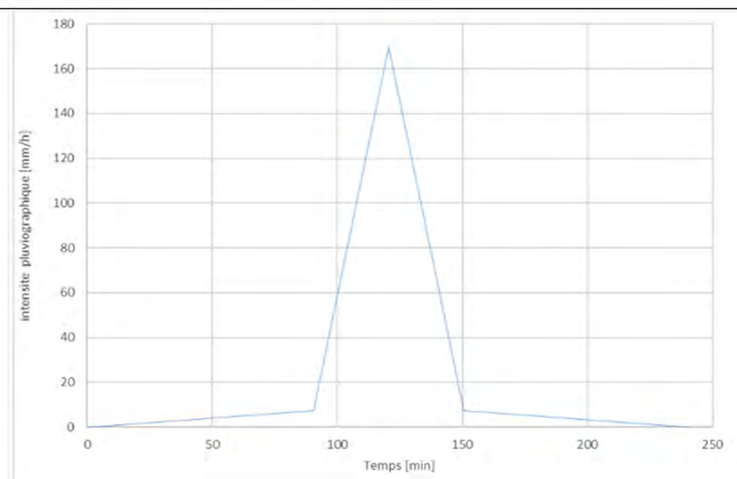
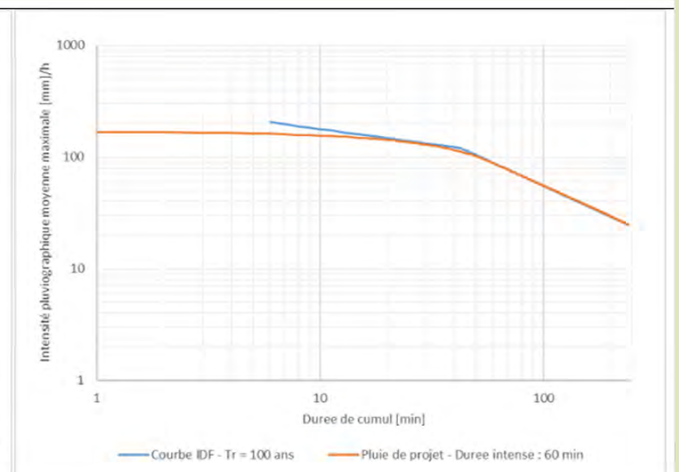
Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisé sur un axe IDF
30	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0498-A		
60	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0499-A		

Tableau Annexe 4-5 Données tabulées – Hyétogrammes théoriques – Station de Saint-Dizier

Durée intense [min]	N° point	Temps [min]	Intensité	
			[mm/min]	[mm/h]
6	1	0	0,00	0,00
	2	117,5	0,43	26,06
	3	120,5	6,08	364,57
	4	123,5	0,43	26,06
	5	241	0,00	0,00
12	1	0	0,00	0,00
	2	114,5	0,35	21,25
	3	120,5	4,65	278,78
	4	126,5	0,35	21,25
	5	241	0,00	0,00
18	1	0	0,00	0,00
	2	111,5	0,29	17,22
	3	120,5	4,00	239,91
	4	129,5	0,29	17,22
	5	241	0,00	0,00
30	1	0	0,00	0,00
	2	105,5	0,19	11,45
	3	120,5	3,17	190,26
	4	135,5	0,19	11,45
	5	241	0,00	0,00
60	1	0	0,00	0,00
	2	90,5	0,16	9,40
	3	120,5	1,72	103,39
	4	150,5	0,16	9,40
	5	241	0,00	0,00

Tableau Annexe 4-6 Données tabulées – Hyétogrammes théoriques – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée intense [min]	N° point	Temps [min]	Intensité	
			[mm/min]	[mm/h]
6	1	0	0,00	0,00
	2	117,5	0,67	40,27
	3	120,5	6,14	368,65
	4	123,5	0,67	40,27
	5	241	0,00	0,00
12	1	0	0,00	0,00
	2	114,5	0,57	34,28
	3	120,5	5,08	304,58
	4	126,5	0,57	34,28
	5	241	0,00	0,00
18	1	0	0,00	0,00
	2	111,5	0,48	28,93
	3	120,5	4,58	274,65
	4	129,5	0,48	28,93
	5	241	0,00	0,00
30	1	0	0,00	0,00
	2	105,5	0,31	18,89
	3	120,5	4,09	245,43
	4	135,5	0,31	18,89
	5	241	0,00	0,00
06	1	0	0,00	0,00
	2	90,5	0,12	7,26
	3	120,5	2,82	169,43
	4	150,5	0,12	7,26
	5	241	0,00	0,00

4.1.2 Discussions et conclusion

Il ressort de l'analyse des résultats les éléments suivants :

- en l'état actuel des coefficients de Montana, comme attendu, les hyétogrammes créés à partir de la station de Cirfontaines-en-Ornois sont plus pénalisants que ceux issus de la station de Saint-Dizier. Cette différence tend même à s'accroître avec l'augmentation des durées intenses de pluie. Sans surprise, cette évolution relative est la même que celle des ajustements de Montana concernés ;
- le pas de discrétisation du hyétogramme fixé à un min permet de tenir compte avec une bonne approximation de la pointe du hyétogramme de pluie instantané ;
- les hyétogrammes de pluie centennale projetés sous forme de courbe IDF indiquent effectivement que le hyétogramme est celui d'une pluie centennale, pour chaque durée intense. Il reste proche de la courbe IDF (intensité, durée, fréquence) pour les cumuls de durée supérieurs à la durée intense de la pluie.

4.2 Pluies centennales utilisées pour le modèle global

- **objectif**

  La pluie dimensionnante pour le réseau de collecte utilisée dans le cadre du modèle hydraulique global des réseaux de collecte des eaux pluviales du centre de stockage est une pluie de type « Keifer ». Comme pour la pluie double-triangulaire, il s'agit d'un des types de pluies préconisées par le guide ASN n° 13 (100).

  La conception de cette pluie repose entièrement sur la courbe Intensité-Durée-Fréquence de la station de référence.

  Le contenu de ce chapitre vise à expliciter la méthodologie utilisée ainsi que l'hyétogramme de projet qui sera utilisé ;

- **méthodologie**

  Historiquement, cette pluie de projet a été proposée par Keifer et Chu (1950) pour son emploi à Chicago, USA. Son principe repose sur la transformation directe d'une courbe Intensité-Durée-Fréquence en hyétogramme de pluie. Pour mémoire, la courbe Intensité-Durée-Fréquence d'une station pluviométrique est directement issue d'une analyse fréquentielle effectuée sur des jeux de données pluviométriques brutes mesurées. À toutes fins utiles, il est rappelé qu'en France, le principal organisme producteur de données - Météo-France – mesure la hauteur de pluie précipitée sur un pas de temps de six minutes. En dessous de cette valeur, on ne dispose donc d'aucune information sur la pluie mesurée ;

- **pluie de projet Keifer avancée :** le formalisme de la pluie de Keiffer directement issue des courbes Intensité-Durée-Fréquence est présenté ci-après.

Tableau Annexe 4-7 Formalisme de la pluie Keifer avancée

Pluie IDF	En France, les courbes Intensité-Durée-Fréquence sont classiquement représentées à partir du formalisme de Montana. Avec l'ajustement de Montana, 2 paramètres (*i.e.* Les paramètres de Montana) sont nécessaires pour définir la loi de l'évolution de l'intensité maximale moyenne de pluie précipitée sur une durée de cumul en fonction de la durée de cumul. Le formalisme de la loi de Montana est présenté ci-après. $\mathbf{i_{(t.T)} = a_{(T)}.t^{-b_{(T)}}}$ • i [mm/min] : Intensité pluviométrique moyenne maximale sur une durée de cumul, pour une période de retour fixée ; • h [mm] : Hauteur de pluie moyenne maximale précipitée durant la durée de cumul ; • a(T) [mm/min], b(T) : paramètres pluviométriques de Montana pour la période de retour T ; • t [mn] : durée de cumul ; • T : Période de retour associée.
Hyétogramme cumulé IDF	Le hyétogramme cumulé (i.e évolution des hauteurs de pluie cumulées depuis le début de l'événement pluvieux) correspond simplement au produit des intensités moyennes maximales sur chaque durée de cumul avec la durée de cumul. $\mathbf{H_{(t.T)} = a_{(T)}.t^{1-b_{(T)}}}$
Intensité instantanée	Le hyétogramme instantanée « Keifer » associée à la courbe IDF est donnée par la relation suivante. $\mathbf{i_{(t.T)} = \frac{dH_{(t.T)}}{dt} = (1-b).a_{(T)}.t^{-b_{(T)}}}$

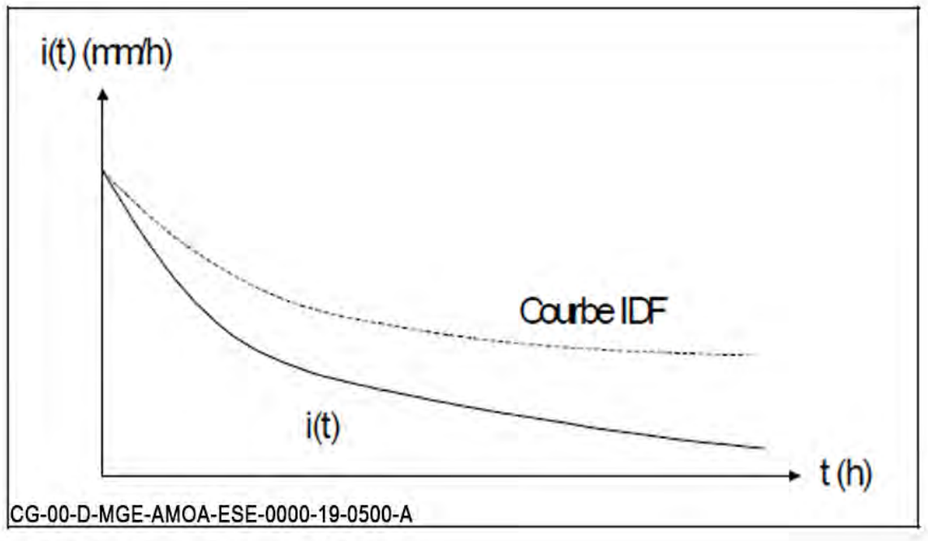
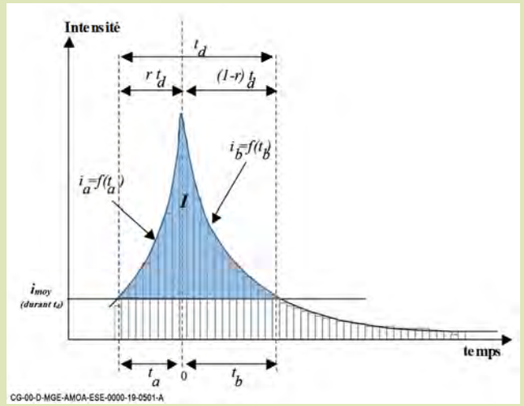


Figure Annexe 4-1 Hyétogramme instantanée « Keifer » obtenu à partir de la courbe Intensité-Durée-Fréquence associée

- **pluie de projet Keifer généralisée :** la pluie de Keifer « avancée » décrite ci-avant est très éloignée de la forme d'une pluie réelle. Pour corriger ce biais, les auteurs ont introduit un coefficient de centrage « R » compris entre 0 et 1 de manière faire apparaitre un pic d'intensité au sein de la pluie. Le sens physique associé à ce coefficient de décentrage est le suivant :
  - ✓ la durée « r x T_d » représente la durée de la pluie avant le pic d'intensité ;
  - ✓ la durée complémentaire « (1-r) x T_d » représente la durée de la pluie après le pic d'intensité.

Le hyétogramme se présente ainsi sous la forme de deux courbes exponentielles, l'une avant et l'autre après la pointe de l'averse. Le formalisme de cette pluie de projet Keifer générale est présenté ci-après.

Tableau Annexe 4-8 Le formalisme de cette pluie de projet Keifer générale



Détails de conception

- égalité 1 : $t_d = t_a + t_b$;
- égalité 2 : $r = \frac{t_a}{t_d}$;

(1) et (2) ⇒ égalité 3 $t_d = \frac{t_a}{r} = \frac{t_b}{1-r}$

- égalité 4 ;
- $I = \int_0^{t_a} f(t_a)dt_a + \int_0^{t_b} f(t_b)dt_b = \int_0^{t_d} f(t_d)dt_d$
- égalité 5 ;
- $f(t_a) = f(t_b) = f(t_d)$;
- égalité 6

$$I = i_{moy} \cdot t_d$$

⇒ égalité 7 : résultats

$$\frac{dI}{dt_d} = t_d \cdot \frac{di_{moy}}{dt_d} + i_{moy} = f(t_a) = f(t_b)$$

D'où

$$i = a(1-b)t_d^{-b} \text{ (1)}$$
$$i_a = a(1-b)(\frac{t_a}{r})^{-b}$$
$$i_b = a(1-b)(\frac{t_b}{1-r})^{-b}$$

[1] on remarque, bien entendu, que l'évolution de l'intensité pluviométrique au cours du temps t_d est la même que pour la pluie Keifer avancée.

Rmq : la valeur minimale de t_d est définie, en pratique, par la valeur minimale à laquelle les données de pluie sont effectivement mesurées. Elle est de 6 minutes, en France.

- t_d [min] : Durée totale entre les deux intersections ;
- t_a [min] : Durée avant le pic d'intensité ;
- t_b [mm] : Durée après le pic d'intensité ;
- i_{moy} [mm/h] : Intensité moyenne de la pluie durant t_d ;
- I [-] : Cumul de hauteur de pluie durant t_d.

» NOTE IMPORTANTE

- en pratique, on utilise des hyétogrammes discrétisés pour mener à bien les différents calculs. La discrétisation du hyétogramme de Keifer s'opère d'une façon tout à classique en calculant l'intensité moyenne entre deux pas de temps donnés. Cette intensité moyenne est égale au quotient de la hauteur d'eau précipitée entre ces deux pas de temps par la durée entre ces deux mêmes pas de temps ;
- la construction particulière de la pluie de Keifer et le pas de temps minimal des mesures de Météo-France (pour mémoire six minutes) implique que le pas de temps de discrétisation d'une pluie Keifer centrée serait d'au minimum de six minutes. En effet, entre 0 et 6 minutes, on ne dispose que d'une seule information de hauteur d'eau.

4.2.1 Résultats

Les pluies sont présentées sous la forme suivante :

- graphique et tableau pour le hyétogramme discrétisé de Keifer de durée Dt = 4H.

Tableau Annexe4-9 Saisir la légende du tableau

Saint-Dizier		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
0	0,04 738 187	2,84291 216
6	0,04 946 572	2,96794 339
12	0,05 176 167	3,10570 025
18	0,054 305	3,25830 021
24	0,05 713 945	3,42836 704
30	0,06 031 989	3,61919 364
36	0,06 391 621	3,83497 249
42	0,06 801 882	4,08112 946
48	0,07 274 699	4,36481 933
54	0,0782 614	4,69568 377
60	0,08 478 418	5,08705 052
66	0,09 263 181	5,55790 845
72	0,10 227 201	6,13632 078
78	0,11 442 801	6,86568 045
84	0,13 028 415	7,817 049

Cirfontaines-en-Ornois		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
0	0,03 476 751	2,08605035
6	0,03 644 066	2,18643987
12	0,03 829 164	2,29749837
18	0,04 035 089	2,42105341
24	0,04 265 632	2,55937936
30	0,04 525 573	2,71534372
36	0,04 821 025	2,89261526
42	0,05 159 945	3,09596685
48	0,05 552 879	3,3317276
54	0,0 601 413	3,6084782
60	0,06 563 597	3,93815798
66	0,07 229 834	4,33790057
72	0,08 055 383	4,83322974
78	0,09 106 609	5,46396513
84	0,10 493 301	6,29598067

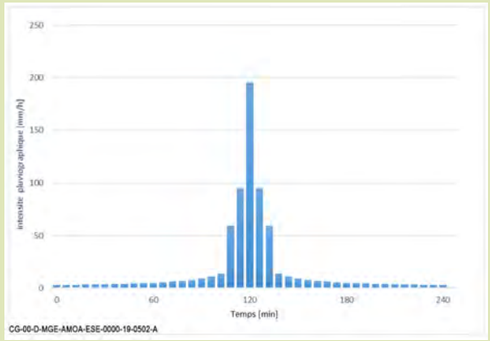
Saint-Dizier		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
90	0,15 193 207	9,11 592 444
96	0,18 347 157	11,0 082 944
102	0,23 428 503	14,0 571 019
108	0,98 859 757	59,3 158 544
114	1,58 647 391	95,1 884 349
120	3,2 552 381	195,314 286
126	1,58 647 391	95,1 884 349
132	0,98 859 757	59,3 158 544
138	0,23 428 503	14,0 571 019
144	0,18 347 157	11,0 082 944
150	0,15 193 207	9,11 592 444
156	0,13 028 415	7,817 049
162	0,11 442 801	6,86 568 045
168	0,10 227 201	6,13 632 078
174	0,09 263 181	5,55 790 845
180	0,08 478 418	5,08 705 052
186	0,0 782 614	4,69 568 377
192	0,07 274 699	4,36 481 933
198	0,06 801 882	4,08 112 946
204	0,06 391 621	3,83 497 249
210	0,06 031 989	3,61 919 364
216	0,05 713 945	3,42 836 704
222	0,054 305	3,25 830 021
228	0,05 176 167	3,10 570 025
234	0,04 946 572	2,96 794 339

Cirfontaines-en-Ornois		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
90	0,1 241 165	7,44699007
96	0,26 038 623	15,6231737
102	1,53 053 824	91,8322945
108	1,71 190 132	102,714079
114	2,09 098 809	125,459285
120	3,40 761 905	204,457 143
126	2,09 098 809	125,459 285
132	1,71 190 132	102,714 079
138	1,53 053 824	91,8322 945
144	0,26 038 623	15,6231 737
150	0,1 241 165	7,44699 007
156	0,10 493 301	6,29598 067
162	0,09 106 609	5,46396 513
168	0,08 055 383	4,83322 974
174	0,07 229 834	4,33790 057
180	0,06 563 597	3,93815 798
186	0,0 601 413	3,6084 782
192	0,05 552 879	3,3317 276
198	0,05 159 945	3,09596 685
204	0,04 821 025	2,89261 526
210	0,04 525 573	2,71534 372
216	0,04 265 632	2,55937 936
222	0,04 035 089	2,42105 341
228	0,03 829 164	2,29749 837
234	0,03 644 066	2,18643 987

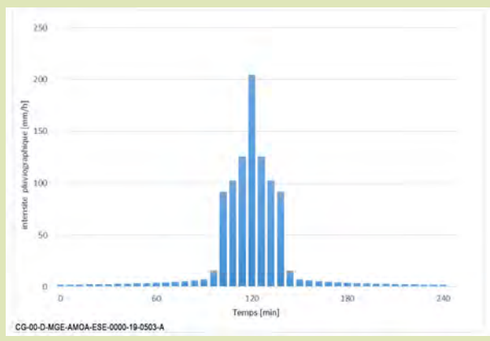
Saint-Dizier		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
240	0,04 738 187	2,84 291 216
246	0	0

Cirfontaines-en-Ornois		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
240	0,03 476 751	2,08605 035
246	0	0

Tableau Annexe 4-10 Valeurs tabulées des hyétogrammes discrétisés « Keifer »



Hyétogrammes « Keifer » - Saint-Dizier



Hyétogrammes « Keifer » - Cirfontaines

4.2.2 Discussions et conclusion

Il ressort de l'analyse des résultats les éléments suivants :

- la courbe intensité-durée-fréquence de la station de Cirfontaines-en-Ornois est située au-dessus de celle de Saint-Dizier. L'ordre relatif des hyétogrammes de Keifer est identique ;
- le pas de discrétisation du hyétogramme est fixé à six minutes, soit la borne inférieure de l'intervalle de définition de la courbe intensité-durée-fréquence dont sont issues les hyétogrammes de Keifer.

Annexe 5 Substances prises en compte dans la caractérisation de l'état des cours d'eau

5.1 Synthèse des polluants

Tableau Annexe 5-1 Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimique généraux pour les cours d'eau[64]

Paramètres	Unité	Code Sandre	Limites des classes d'état			
			Très bon/ bon	Bon/ Moyen	Moyen/ Médiocre	Médiocre/ Mauvais
Bilan oxygène						
Oxygène dissous	mg O_2/l	1311	8	6	4	3
Taux de saturation en O2 dissous	%	1312	90	70	50	30
DBO5	mg O_2/l	1313	3	6	10	25
Carbone organique dissous	(mg C/l)	1841	5	7	10	15
Température						
Eaux salmonicoles	°C	1301	20	21,5	25	28
Eaux cyprinicoles			24	25,5	27	28
Nutriments						
PO43-	mg PO_{43}-/l	1433	0,1	0,5	1	2
Phosphore total	mg P/l	1350	0,05	0,2	0,5	1
NH4+	mg NH_4+/l	1335	0,1	0,5	2	5
NO2-	mg NO_2-/l	1339	0,1	0,3	0,5	1
NO3-	mg NO_3-/l	1340	10	50	*65	*65
Acidification						
pH minimum	-	1302	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum	-		8,2	9	9,5	10
Salinité						
Conductivité	-	1303	*65	*65	*65	*65
Chlorure	-	1337	*65	*65	*65	*65
Sulfates	-	1338	*65	*65	*65	*65

[64] Annexe 3 – Modalité d'évaluation de l'état des éléments de qualité de l'état écologique pour les eaux douces de surface – de l'arrêté du 25 janvier 2010 dans sa version en vigueur (78).

[65] Les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite.

Tableau Annexe 5-2 Synthèse des polluants caractérisant l'état chimique des cours d'eau

Paramètre	Famille de paramètres	Support	Code SANDRE	Code CAS	Méthode	Limite de détection	Limite de quantification	Unité	NQE-MA[66]	NQE-CMA[67]	NQE Biote
1,2-dichloroéthane	COHV, solvants chlores, freons	Eau	1161	107-06-2	NF EN ISO15680 de 2004 (279)	0,3	0,90000	µg/l	10	Sans objet	?
4-nonylphenols ramifies	Alkylphenols, nonylphenols et bisphenols A	Eau	1958	84852-15-3	Méthode interne (LL/Dérivation/GC/MS/MS)	0,007	0,02000	µg/l	0,3	2	
4-tert-Octylphenol	Alkylphenols, nonylphenols et bisphenols A	Eau	1959	140-66-9	Méthode interne (LL/Dérivation/GC/MS/MS)	0,007	0,02000	µg/l	0,1	Sans objet	
Acide sulfonique de perfluorooctane (PFOS)	PFC (PFOA, PFOS)	Eau	6560	1763-23-1	Méthode interne (LL/RRLC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	?	?	?
Aclonifene	Divers (autres organiques)	Eau	1688	74070-46-5	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,005	0,01500	µg/l	0,12	0,12	
Alachlore	Divers (autres organiques)	Eau	1101	15972-60-8	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00200	µg/l	0,3	0,7	
Anthracene	HAP	Eau	1458	120-12-7	NF EN ISO17993	0,003	0,01000	µg/l	0,1	0,1	
Atrazine	Triazines et metabolites	Eau	1107	1912-24-9	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00200	µg/l	0,6	2,0	
Benzene	Benzene et dérivés	Eau	1114	71-43-2	NF EN ISO15680 (279)	0,07	0,20000	µg/l	10	50	
Benzo(a)pyrene	HAP	Eau	1115	50-32-8	NF EN ISO17993	0,0003	0,00100	µg/l	$1,7*10^{-4}$	0,27	5
Benzo(b)fluoranthene	HAP	Eau	1116	205-99-2	NF EN ISO17993	0,0002	0,00500	µg/l	Voir note[68]	0,17	Voir note[68]
Benzo(g,h,i)perylene	HAP	Eau	1118	191-24-2	NF EN ISO17993	0,0002	0,00060	µg/l	Voir note[68]	$8,2*10^{-3}$	Voir note[68]
Benzo(k)fluoranthene	HAP	Eau	1117	207-08-9	NF EN ISO17993	0,0002	0,00500	µg/l	Voir note[68]	0,17	Voir note [68]
Bifenox	Divers (autres organiques)	Eau	1119	42576-02-3	Méthode interne (LL/GC/MS)	0,003	0,01000	µg/l	0,012	0,04	
Cadmium	Métaux et metalloïdes	Eau	1388	7440-43-9	NF EN ISO17294-2 de 2016 (38)	0,003	0,01000	µg/l	≤0,08 (classe 1) 0,08 (classe 2) 0,09 (classe 3) 0,15 (classe 4) 0,25 (classe 5)	≤0,45 (classe1) 0,45 (classe 2) 0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4) 1,5 (classe 5)	
Chlorfenvinphos	Organophosphores	Eau	1464	470-90-6	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,003	0,01000	µg/l	0,1	0,3	
Chloroalcanes C10-C13	Chloroalcanes SCCP	Eau	1955	85535-84-8	Méthode interne (LL/GC/NCI/MS)	0,05	0,15000	µg/l	0,4	1,4	16600

[66] Ce paramètre est la norme de qualité environnementale exprimée en valeur moyenne annuelle (NQE-MA). Sauf indication contraire, il s'applique à la concentration totale de tous les isomères.
[67] Ce paramètre est la norme de qualité environnementale exprimée en concentration maximale admissible (NQE-CMA). Lorsque les NQE-CMA sont indiquées comme étant « sans objet », les valeurs retenues pour les NQE-MA sont considérées comme assurant une protection contre les pics de pollution à court terme dans les rejets continus, dans la mesure où elles sont nettement inférieures à celles définies sur la base de la toxicité aiguë.
[68] Pour le groupe de substances prioritaires dénommé « hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) » (n° 28), la NQE pour le biote et la NQE-MA dans l'eau correspondante se rapportent à la concentration de benzo (a) pyrène, sur la toxicité duquel elles sont fondées. Le benzo (a) pyrène peut être considéré comme un marqueur des autres HAP et, donc, seul le benzo (a) pyrène doit faire l'objet d'une surveillance aux fins de la comparaison avec la NQE pour le biote ou la NQE-MA dans l'eau correspondante.

Paramètre	Famille de paramètres	Support	Code SANDRE	Code CAS	Méthode	Limite de détection	Limite de quantification	Unité	NQE-MA[66]	NQE-CMA[67]	NQE Biote
Chlorpyrifos (ethylchlorpyrifos)	Organophosphores	Eau	1083	2921-88-2	Méthode interne (LL/GC/MS)	0,0002	0,00500	µg/l	0,03	0,1	
Composes du tributyletain (Tributyletain cation)	Organometalliques	Eau	2879	36643-28-4	Méthode interne (LL/GCPFD)	0,00002	0,00005	µg/l	0,0002	0,0015	
Cybutryne	Triazines et metabolites	Eau	1935	28159-98-0	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0003	0,00100	µg/l	0,0025	0,016	
Cypermethrine	Pyrethrinoïdes	Eau	1140	52315-07-8	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,007	0,02000	µg/l	$8*10^{-5}$	$6*10^{-4}$	
DDT 24'	Organochlores et metabolites	Eau	1147	789-02-6	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	?	?	?
Di (2-ethylhexyl) phtalate (DEHP)	Phtalates	Eau	6616	117-81-7	Méthode interne (LL/GC/MS)	0,07	0,20000	µg/l	1,3	so	3200
Dichloromethane	COHV, solvants chlores, freons	Eau	1168	75-09-2	NF EN ISO 15680 de 2004 (279)	2	5,00000	µg/l	20	so	
Dichlorvos	Organophosphores	Eau	1170	62-73-7	Méthode interne (Injection directe/LC/MS/MS mode positif)	0,0002	0,00500	µg/l	$6*10^{-4}$	$7*10^{-4}$	
Dicofol	Organochlores et metabolites	Eau	1172	115-32-2	Méthode interne (LL/GC/MS)	0,02	0,05000	µg/l	$1,3*10^{-3}$	So (voir note[69])	33
Diuron	Urées et metabolites	Eau	1177	330-54-1	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode négatif)	0,0007	0,00200	µg/l	0,2	1,8	
Endosulfan	Organochlores et metabolites	Eau	1743	115-29-7	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	0,005	0,01	
Fluoranthene	HAP	Eau	1191	206-44-0	NF EN ISO17993 de 2004 (110)	0,0002	0,00500	µg/l	0,0063	0,12	30
Heptachlore	Organochlores et metabolites	Eau	1197	76-44-8	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0002	0,00500	µg/l	?	?	?
Heptachlore époxyde exo cis	Organochlores et metabolites	Eau	1748	1024-57-3	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0002	0,00500	µg/l	?	?	?
Hexachlorobenzene	Chlorobenzene et mono-aromatiques halogènes	Eau	1199	118-74-1	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	?	0,05	10
Hexachlorobuta-1,3-diene	COHV, solvants chlores, freons	Eau	1652	87-68-3	Méthode interne (LL/GC/MS)	0,007	0,02000	µg/l	?	0,6	55
Indeno(1,2,3-cd) pyrene	HAP	Eau	1204	193-39-5	NF EN ISO17993 de 2004 (110)	0,0002	0,00060	µg/l	Voir note [68]	Voir note[68]	Voir note[68]
Isoproturon	Urées et metabolites	Eau	1208	34123-59-6	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00200	µg/l	0,3	1	?
Mercure	Métaux et metalloïdes	Eau	1387	7439-97-6	NF EN ISO17852	0,003	0,01000	µg/l		0,07	20
Naphtalene	HAP	Eau	1517	91-20-3	NF EN ISO17993 de 2004 (110)	0,02	0,05000	µg/l	2	130	
Nickel	Métaux et metalloïdes	Eau	1386	7440-02-0	NF EN ISO17294-2 de 2016 (38)	0,07	0,20000	µg/l	4[68]	34	

[69] Les informations disponibles ne sont pas suffisantes pour établir une NQE-CMA pour ces substances.

Paramètre	Famille de paramètres	Support	Code SANDRE	Code CAS	Méthode	Limite de détection	Limite de quantification	Unité	NQE-MA[66]	NQE-CMA[67]	NQE Biote
Para-para-DDT	Organochlores et metabolites	Eau	1148	50-29-3	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	0,01	Sans objet	?
Pentachlorobenzene	Chlorobenzene et mono-aromatiques halogènes	Eau	1888	608-93-5	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	0,007	Sans objet	367
Pentachlorophenol	Autres phenols	Eau	1235	87-86-5	Méthode interne (LL/Dérivation/GC/MS/MS)	0,007	0,02000	µg/l	0,4	1	
Plomb	Métaux et metalloïdes	Eau	1382	7439-92-1	NF EN ISO17294-2 de 2016 (38)	0,03	0,10000	µg/l	1,2[14]	14	
Quinoxyfene	Divers (autres organiques)	Eau	2028	124495-18-7	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00200	µg/l	0,15	2,7	
Simazine	Triazines et metabolites	Eau	1263	122-34-9	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00200	µg/l	1	4	
Somme des Hexachlorocyclohexanes	Organochlores et metabolites	Eau	5537	Sans objet	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0002	0,00500	µg/l	0,02	0,04	
Terbutryne	Triazines et metabolites	Eau	1269	886-50-0	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00200	µg/l	0,065	0,34	
Tetrachloroethylene	COHV, solvants chlores, freons	Eau	1272	127-18-4	NF EN ISO15680 de 2004 (279)	0,2	0,50000	µg/l	10	Sans objet	
Tetrachlorure de Carbone	COHV, solvants chlores, freons	Eau	1276	56-23-5	NF EN ISO15680 de 2004 (279)	0,2	0,50000	µg/l	12	Sans objet	
Trichlorobenzene	Chlorobenzene et mono-aromatiques halogènes	Eau	1774	Sans objet	Méthode interne (LL/GC/MS)	0,003	0,01000	µg/l	0,4	Sans objet	
Trichloroethylene	PBDE et PBB	Eau	1286	79-01-6	NF EN ISO15680 de 2004 (279)	0,2	0,50000	µg/l	10	Sans objet	
Trifluraline	Anilines et dérivés	Eau	1289	1582-09-8	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0002	0,00500	µg/l	0,03	Sans objet	
Aldrine	Organochlores et metabolites	Eau	1103	309-00-2	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	Somme = 0,01	Sans objet	
Dieldrine	Organochlores et metabolites	Eau	1173	60-57-1	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l			
Endrine	Organochlores et metabolites	Eau	1181	72-20-8	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l			
Isodrine	Organochlores et metabolites	Eau	1207	465-73-6	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l			

Tableau Annexe 5-3 Synthèse des polluants caractérisant l'état écologique des cours d'eau[70]

Paramètre	Famille de paramètres	Support	Code SANDRE	Code CAS	Méthode	Limite de détection	Limite de quantification	Unité	NQE en moyenne annuelle – eau de surface
Polluants spécifiques non synthétiques									
Zinc	Métaux et metalloïdes	Eau	1383	7440-66-6	NF EN ISO17294-2 de 2016 (38)	0,3	0,90000	µg/l	7,8
Arsenic	Métaux et metalloïdes	Eau	1369	7440-38-2	NF EN ISO17294-2 de 2016 (38)	0,003	0,01000	µg/l	0,83
Cuivre	Métaux et metalloïdes	Eau	1392	7440-50-8	NF EN ISO17294-2 de 2016 (38)	0,05	0,15000	µg/l	1
Chrome	Métaux et metalloïdes	Eau	1389	7440-47-3	NF EN ISO17294-2 de 2016 (38)	0,02	0,05000	µg/l	3,4
Polluants spécifiques synthétiques									
2,4-D	Divers (autres organiques)	Eau	1141	94-75-7	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode négatif)	0,0007	0,00200	µg/l	2,2
2,4-MCPA	Divers (autres organiques)	Eau	1212	94-74-6	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode négatif)	0,0007	0,00200	µg/l	0,5
Aminotriazole	Divers (autres organiques)	Eau	1105	61-82-5	Méthode interne	0,007	0,02000	µg/l	0,08
AMPA	Divers (autres organiques)	Eau	1907	1066-51-9	Méthode interne (SPE on line/LC/MS/MS)	0,007	0,02000	µg/l	452
Biphenyle	Benzene et dérivés	Eau	1584	92-52-4	NF EN ISO17993	0,003	0,01000	µg/l	3,3
Boscalid	Divers (autres organiques)	Eau	5526	188425-85-6	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00200	µg/l	11,6
Chlorprophame	Carbamates et metabolites	Eau	1474	101-21-3	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,003	0,01 000	µg/l	4
Chlortoluron	Urées et metabolites	Eau	1136	15545-48-9	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00 200	µg/l	0,1
Diflufenicanil	Divers (autres organiques)	Eau	1814	83164-33-4	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00 200	µg/l	0,01
Glyphosate	Divers (autres organiques)	Eau	1506	1071-83-6	Méthode interne (SPE on line/LC/MS/MS)	0,007	0,02 000	µg/l	28
Imidaclopride	Divers (autres organiques)	Eau	1877	138261-41-3	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0002	0,00 500	µg/l	0,2
Metaldehyde	Aldehydes et cetones	Eau	1796	108-62-3	Méthode interne (SPE on line/LC/MS/MS)	0,007	0,02 000	µg/l	60,6
Metazachlore	Divers (autres organiques)	Eau	1670	67129-08-2	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0007	0,00 200	µg/l	0,019
Oxadiazon	Divers (autres organiques)	Eau	1667	19666-30-9	Méthode interne (LL/LC/MS/MS mode positif)	0,0002	0,00 500	µg/l	0,09
Phosphate de tributyle	Organophosphores	Eau	1847	126-73-8	Méthode interne (LL/GC/MS)	0,03	0,10 000	µg/l	82
Xylene	Benzene et dérivés	Sédiments	1780	1330-20-7	Méthode interne (ITEX-GC Masse)	3,3	10,00 000	µg/kg MS	1

[70] Annexe 3 – Modalité d'évaluation de l'état des éléments de qualité de l'état écologique pour les eaux douces de surface – de l'arrêté du 25 janvier 2010 (78) dans sa version en vigueur.

Annexe 6 Substances prises en compte dans la caractérisation de l'état des masses d'eau souterraines

6.1 Paramètres et polluants de l'état de la masse d'eau souterraine

Tableau Annexe 6-1 Paramètres et polluants pour la définition de l'état de la masse d'eau souterraine

Paramètre	Polluants	NQE	Paramètres	Valeur seuil
	ANNEXE I de l'arrêté du 17 décembre 2008 (64)		ANNEXE I de l'arrêté du 17 décembre 2008 (64)	
Nitrates	X	50 mg/l	-	-
Substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents	X	0,1 µg.L^{-1} 0,5 µg.L^{-1} (total)	-	-
Arsenic	-	-	X	10 µg.L^{-1}
Cadmium	-	-	X	5 µg.L^{-1}
Plomb	-	-	X	10 µg.L^{-1}
Mercure	-	-	X	1 µg.L^{-1}
Trichloréthylène	-	-	X	10 µg.L^{-1}
Tétrachloréthylène	-	-	X	10 µg.L^{-1}
Ammonium	-	-	X	0,5 µg.L^{-1}

Annexe 7 Détail des dates et conditions des prospections faune-flore-habitats

7.1 Détail des prospections de terrain pour les raccordements électriques

Tableau Annexe 7-1 Prospections le long de la ligne HT (2018/2019-2021)

Dates des inventaires	Conditions météorologiques
Identification des potentialités faunistiques et floristiques	
16/10/2018	Ciel dégagé – Vent nul – 11 à 23°
Inventaires avifaune et amphibiens **Évaluation des enjeux pour les habitats et espèces d'intérêt communautaire (chiroptères, amphibiens, poissons, reptiles, flore)**	
02/05/2019	Ciel dégagé puis couvert – Vent nul – 13 °C
16/05/2019	Ciel dégagé – Vent faible – 12 à 17 °C
28/05/2019	Ciel couvert – Vent faible – 12 à 16 °C
29/05/2019	Ciel couvert – Vent nul – 12 à 18 °C
19/06/2019	Ciel couvert puis dégagé – Vent nul – 22 à 28 °C
02/04/2021	Ciel dégagé – Soleil – Vent modéré NE – 6 à 17 °C

Tableau Annexe 7-2 Périodes de prospection pour les raccordements électriques en 2016-2017 (poste et fuseau 5S)

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	commentaires
Inventaires de la flore		
19/07/2016	Temps dégagé, 25 °C	
12/14/2017	Éclaircies, 24 °C	
09/05/2017	Éclaircies, 26 °C	
Inventaires des insectes		
19/07/2016	Temps dégagé, 25 °C	Papillons et orthoptères : capture au filet
02/09/2016	Temps dégagé, 20 °C	Orthoptères
19/06/2017	Temps dégagé, 26 °C	Papillons, capture au filet
06/07/2017	Temps dégagé, 23 °C	Papillons, capture au filet
16/08/2017	Temps dégagé, 25 °C	Orthoptères
Inventaires des reptiles		
27/03/2017	Temps dégagé, 13 °C	Pose de plaques à reptiles
12/04/2017	Éclaircies, 24 °C	
09/05/2017	Éclaircies, 26 °C	
06/07/2017	Temps dégagé, 23 °C	
Inventaires des oiseaux		
27/03/2017	Temps dégagé, 13 °C	
12/04/2017	Éclaircies, 24 °C	Points d'écoute avifaune diurne
09/05/2017	Éclaircies, 26 °C	Points d'écoute avifaune diurne
19/06/2017	Temps dégagé, 26 °C	Caractérisation des populations de Pie-grièche
Chiroptères		
10/08/2017	Temps dégagé, 16 °C	Détection des ultra-sons

7.2 Détail des prospections de terrain pour le projet de centre de stockage Cigéo

Tableau Annexe 7-3 Prospections de terrain pour le centre de stockage Cigéo (2016-2020)

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
22/01/2016	Nuageux, -5 à 5 °C					x		
01/02/2016	Nuageux, 10 à 11 °C	X					x	
12/02/2016	Nuageux, rares averses, -1 à 5 °C					x		
28/05/2016	Nuageux, 11 à 23 °C	X					x	
31/05/2016	Nuageux, 12 à 16 °C	X					x	
02/06/2016	Bruine, 13 à 18 °C	X					x	
07/06/2016	Nuageux, 16 à 27 °C	X						
08/06/2016	Nuageux, 14 à 22 °C	X						

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
09/06/2016	Eclaircies, 10 à 24 °C	X					x	
10/06/2016	Eclaircies, 10 à 23 °C	X					x	
13/06/2016	Nuageux, 14 à 18 °C	X						
17/06/2016	Nuageux, 13 à 20 °C	X						
18/06/2016	Nuageux, pluie, 12 à 18 °C	X						
24/06/2016	Nuageux, 20 à 25 °C	X						
26/06/2016	Eclaircies, 11 à 20 °C	X						
29/06/2016	Nuageux, 16 à 23 °C					x		
04/07/2016	Nuageux, 15 à 23 °C						x	
05/07/2016	Nuageux, 15 à 23 °C						x	
19/07/2016	Eclaircies, 16 à 33 °C			x				
20/07/2016	Éclaircies, 18 à 34 °C		X					
21/07/2016	Nuageux, 18 à 25 °C		X					
22/07/2016	Averses, 17 à 26 °C		X					
25/07/2016	Nuageux, 14 à 28 °C		X					
26/07/2016	Nuageux, 16 à 25 °C		X					
28/07/2016	Nuageux, 14 à 23 °C					X		
29/07/2016	Éclaircies, 16 à 24 °C					X		
02/08/2016	Nuageux, 15 à 20 °C					x		
04/08/2016	Nuageux, 16 à 19 °C					x		
05/08/2016	Ensoleillé, vent nul, 14 à 23 °C			x				x
08/08/2016	Soleil (chaud), 14 à 23 °C		X					
09/08/2016	Soleil (chaud), 12 à 22 °C		X	x	x			x
10/08/2016	Soleil (chaud), 7 à 19 °C		X	x				x

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
11/08/2016	Soleil (chaud), 6 à 20 °C		X	x	x			
16/08/2016	Soleil (chaud), 17 à 31 °C		X					
17/08/2016	Soleil (chaud), 17 à 31 °C		X	x				x
22/08/2016	Éclaircies, 11 à 25 °C		X		x			x
23/08/2016	Canicule, 13 à 32 °C		X		x			x
24/08/2016	Canicule, 15 à 34 °C		X	x				x
25/08/2016	Canicule, 16 à 34 °C		X	x				
26/08/2016	Canicule, 17 à 36 °C		X	x				x
29/08/2016	Canicule, 16 à 22 °C							x
30/08/2016	Canicule, 12 à 27 °C			x				
31/08/2016	Canicule, 13 à 28 °C			x				x
01/09/2016	Canicule,11 à 27 °C		x	x				x
02/09/2016	Canicule, 11 à 24 °C		x	x				x
05/09/2016	Très nuageux, 15 à 20 °C		x			x		
06/09/2016	Ensoleillé, 15 à 27 °C		x			X		
07/09/2016	Ensoleillé, 11 à 28 °C				x	X		x
08/09/2016	Ensoleillé, vent faible, 15 à 27 °C			x		X		x
09/09/2016	Ensoleillé, vent faible, 15 à 24 °C							x
13/09/20016	Ensoleillé, vent faible, 22 à 30 °C			x				
14/09/2016	Ensoleillé, vent nul, 19 à 29 °C			x				x
15/09/2016	Pluie, 14 à 17 °C							x
16/09/2016	nuageux, éclaircies, 12 à 21 °C							x
21/09/2016	Nuageux, 12 à 21 °C			x				x
22/09/2016	Nuageux, 6 à 21 °C			x				x

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
23/09/2016	Nuageux, 8 à 23 °C			x				x
24/09/2016	Nuageux, 8 à 24 °C			x				
27/09/2016	Couvert, vent faible 5 à 15 °C							x
28/09/2016	Couvert, vent faible 5 à 15 °C			x				x
29/09/2016	Couvert, vent faible 5 à 15 °C			x				x
03/10/2016	Brouillard, 6 à 17 °C				x			
04/10/2016	Brouillard, 4 à 17 °C				x			
05/10/2016	Éclaircies, 8 à 15 °C				x			
06/10/2016	Nuageux, 4 à 14 °C				x			
24/10/2016	Nuageux, rares averses, 9 à 15 °C		x					
16/11/2016	Nuageux, 7 à 11 °C							x
23/11/2016	Nuageux, 5 à 15 °C							x
30/11/2016	Nuageux, -6 à 6 °C							x
01/12/2016	Nuageux, -6 à 5 °C							x
07/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C							x
08/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C							x
14/12/2016	Nuageux, éclaircies, 0 à 12 °C							x
15/12/2016	Éclaircies, 1 à 10 °C							x
19/12/2016	Nuageux, 2 à 4 °C							x
21/12/2016	Nuageux, 0 à 5 °C							x
22/12/2016	Rares averses, 2 à 7 °C							x
03/01/2017	Nuageux, -1 à 0 °C							x
05/01/2017	Nuageux, -1 à 2 °C							x
09/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -7 à 0 °C							x
11/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible 1 à 5 °C							x
17/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -6 à -3 °C							x
18/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -6 à -2 °C							x
19/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -7 à -2 °C							x
24/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -7 à 0 °C							x
31/01/2017	Froid, ciel clair, 7 à 8 °C							x
02/02/2017	Froid, soleil, 6 à 12 °C							x
08/02/2017	Couvert, vent faible, 3 à 4 °C							x
10/02/2017	Froid, ciel clair, -1 à 3 °C							x
14/02/2017	Ciel dégagé, température douce, 0 à 11 °C							x
16/02/2017	Ciel dégagé, température douce, 5 à 12 °C			x				x
22/02/2017	Quelques gouttes avec vent moyen, 6 à 7 °C							x
23/02/2017	Couvert 0 à 10 °C	X						x
27/02/2017	Couvert 0 à 10 °C	X						
28/02/2017	Couvert 0 à 10 °C	X						
02/03/2017	Couvert 0 à 10 °C							x
03/03/2017	Couvert, vent faible 0 à 10 °C							x
08/03/2017	Ensoleillé 0 à 10 °C	X						
09/03/2017	Pluie faible à modérée, 9 à 10 °C	X					x	x
10/03/2017	Couvert, averses, vent faible 5 à 10 °C	X					x	
13/03/2017	Couvert, 5 à 10 °C	X					x	
14/03/2017	Couvert vent faible 5 à 10 °C	X					x	
15/03/2017	Couvert vent faible 5 à 10 °C	X					x	
16/03/2017	Ciel dégagé 10 à 15 °C	X					x	x

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
19/03/2017	Couvert, vent faible 5 à 10 °C						x	
21/03/2017	Couvert 10 à 15 °C						x	
22/03/2017	Peu nuageux 10 à 15 °C	X						x
23/03/2017	Éclaircies 10 à 15 °C	X	x				x	
24/03/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
26/03/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X						
27/03/2017	Orageux, vent faible à modéré 10 à 15 °C	X					x	
28/03/2017	Orageux, vent faible à modéré 10 à 15 °C	X		x			x	
29/03/2017	Couvert 10 à 15 °C	X					x	x
30/03/2017	Couvert, vent faible 10 à 15 °C	X					x	
31/03/2017	Dégagé 10 à 15 °C	X						
01/04/2017	Couvert, averses, vent faible 5 à 10 °C	X					x	
03/04/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X		x			x	
04/04/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X		x				
05/04/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X						x
06/04/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X					x	
10/04/2017	Nuageux, vent moyen, 11 à 15 °C			x				
11/04/2017	Ensoleillé, vent léger 10 à 15 °C			x				
17/04/2017	Couvert, averses, vent faible 5 à 10 °C	X					x	
18/04/2017	Couvert, averses, vent faible 5 à 10 °C				x			
19/04/2017	Couvert, rares averses, vent faible 10 à 15 °C	X			x		x	
20/04/2017	Dégagé 10 à 15 °C	X			x		x	
21/04/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X						
22/04/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X						
24/04/2017	Dégagé, vent faible 10 à 15 °C	X		x			x	
25/04/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
26/04/2017	Dégagé, vent faible 10 à 15 °C	X					x	
27/04/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
02/05/2017	Couvert 10 à 15 °C	X					x	
03/05/2017	Couvert 10 à 15 °C	X	X				x	x
04/05/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X	X		x			
05/05/2017	Variable 10 à 15 °C	X	X	x				
06/05/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
09/05/2017	Couvert 10 à 15 °C	X			x			
10/05/2017	Dégagé 10 à 15 °C, vent moyen	X	X	x			x	
11/05/2017	Dégagé 10 à 15 °C	X	x				x	
12/05/2017	Dégagé 10 à 15 °C	X	x				x	
15/05/2017	Dégagé 10 à 15 °C	X	x	x				
16/05/2017	Dégagé 10 à 15 °C	X	x	x				
17/05/2017	Ensoleillé, vent faible 10 à 15 °C	X	x					
18/05/2017	Averses 10 à 15 °C	X	x					
19/05/2017	Couvert 10 à 15 °C	X	x					
22/05/2017	Ensoleillé, vent faible, 16 à 24 °C		x	x	x			
23/05/2017	Ensoleillé, vent moyen, 18 à 23 °C	X		x	x			x
24/05/2017	Ensoleillé, vent faible, 25 °C en moyenne	X		x	x			
26/05/2017	Dégagé 15 à 25 °C	X			x			
27/05/2017	Dégagé 15 à 25 °C	X						
28/05/2017	Dégagé 15 à 25 °C	X						

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
29/05/2017	Ensoleillé, vent moyen, 23 à 30 °C			x				
30/05/2017	Temps estival, orageux, vent moyen, 19 à 22 °C			x	x	X		
31/05/2017	Temps estival, vent faible, 16 à 23 °C	X		x	x	X		
01/06/2017	Couvert avec éclaircies 15 à 25 °C	X		x				
02/06/2017	Dégagé 15 à 25 °C	X						
05/06/2017	Couvert 15 à 25 °C	X						
06/06/2017	Averses, vent fort, 10 à 14 °C				x			
07/06/2017	Couvert, quelques averses, éclaircies, vent fort, 10 à 16 °C	X		x	x			
08/06/2017	Temps estival, vent faible, 16 à 23 °C	X		x				x
09/06/2017	Nuageux, 14 à 23 °C	X					x	
11/06/2017	Dégagé 15 à 25 °C	X						
12/06/2017	Couvert 15 à 25 °C	X				X		
13/06/2017	Temps estival, vents faible, 16 à 24 °C			x		X		x
14/06/2017	Temps estival, quelques nuages, vent nul, 17 à 26 °C	X		x		X		x
15/06/2017	Temps estival, vent faible, 20 à 27 °C	X		x	x			
16/06/2017	Temps estival, 20 à 26 °C	X					x	
17/06/2017	Temps estival, 20 à 26 °C						x	
20/06/2017	Temps estival, vent faible, 27 à 31 °C		x	x		X		x
21/06/2017	Temps estival, vent nul, 24 à 31 °C					X		x
22/06/2017	Temps clair légèrement voilé, vent faible, 26 à 16 °C				x			x
24/06/2017	Chaud, soleil, 14 à 26 °C							x
30/06/2017	Couvert, vent moyen, 14 à 17 °C							x
03/07/2017	Chaud ensoleillé, 17 à 22 °C				x			
04/07/2017	Chaud ensoleillé, vent nul, 20 à 25 °C							x
05/07/2017	Chaud ensoleillé, 25 à 30 °C				x			x
06/07/2017	Chaud ensoleillé, 24 à 31 °C							x
07/07/2017	Couvert, vent faible, 25 à 28 °C							x
10/07/2017	Nuageux, 17 à 23 °C		x					
11/07/2017	Couvert, quelques averses, 16 à 23 °C		x					x
12/07/2017	Nuageux, 16 à 23 °C		x					
13/07/2017	Nuageux, 12 à 18 °C		x		x			
17/07/2017	Nuageux, 15 à 30 °C		x					
18/07/2017	Nuageux, 19 à 30 °C		x					
19/07/2017	Nuageux avec éclaircies, 19 à 32 °C		x					x
20/07/2017	Ensoleillé, 19 à 25 °C		x					x
21/07/2017	Nuageux avec éclaircies, 13 à 26 °C		x					x
25/07/2017	Couvert, 14 à 22 °C							x
26/07/2017	Nuageux, 12 à 24 °C				x			x
27/07/2017	Averses, 17 à 21 °C							x
01/08/2017	Couvert, 17 à 24 °C							x
02/08/2017	Nuageux, éclaircies, 15 à 29 °C							x
04/08/2017	Ensoleillé, 18 à 25 °C							x
07/08/2017	Ensoleillé, 10 à 26 °C							x
08/08/2017	Nuageux avec éclaircies, 14 à 21 °C							x
09/08/2017	Nuageux, 10 à 20 °C					x		x
18/08/2017	Averses, 16 à 20 °C							x
21/08/2017	Nuageux avec éclaircies, 11 à 20 °C							x

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
22/08/2017	Nuageux avec éclaircies, 11 à 20 °C	X						
23/08/2017	Nuageux, 15 à 26 °C	X						x
24/08/2017	Nuageux avec éclaircies, 15 à 25 °C	X						x
25/08/2017	Nuageux, 15 à 26 °C	X						
29/08/2017	Nuageux, 20 à 22 °C	x				X		
30/08/2017	Ciel couvert, 20 à 22 °C	x				X		x
31/08/2017	Ciel dégagé, vent nul, 11 à 15 °C							x
05/09/2017	Nuageux, 17 à 22 °C							x
06/09/2017	Passages nuageux. Vent faible, 13 à 16 °C	x						x
07/09/2017	Nuageux, 12 à 19 °C	x						
08/09/2017	Nuageux, 13 à 19 °C	x						
11/09/2017	Rares averses (pluie faible). Vent moyen, 11 à 14 °C							x
12/09/2017	Vent faible, Températures fraiches, Couvert, 10 à 14 °C							x
19/09/2017	Nuageux, 8 à 15 °C							x
25/09/2017	Éclaircies, 8 à 22 °C	x						
26/09/2017	Nuageux, 12 à 19 °C	x						
27/09/2017	Nuageux, 8 à 22 °C	x						
28/09/2017	Nuageux, 11 à 22 °C	x						x
29/09/2017	Nuageux, 13 à 25 °C	x						
16/10/2017	Nuageux, 10 à 25 °C	x						
19/10/2017	Nuageux, 10 à 24 °C	x						
23/10/2017	Nuageux, 8 à 12 °C	x						
24/10/2017	Nuageux, 11 à 14 °C	x						
25/10/2017	Nuageux, 13 à 15 °C	x						
26/10/2017	Nuageux, 10 à 19 °C	x						
30/10/2017	Nuageux, 0 à 11 °C	x						
31/10/2017	Nuageux, -2 à 11 °C	x						
16/12/2017	Nuageux, 2 à 4 °C	x						
18/12/2017	Nuageux, 1 à 7 °C	x						
19/12/2017	Éclaircies, 4 à 6 °C	x						
20/12/2017	Ensoleillé, 3 à 6 °C	x						
21/12/2017	Nuageux, 6 à 9 °C	x						
22/12/2017	Nuageux, 8 à 9 °C	x						
13/01/2018	Nuageux, 0 à 7 °C	x						
15/01/2018	Nuageux, 1 à 9 °C	x						
19/01/2018	Nuageux, 3 à 5 °C	x						
24/01/2018	Nuageux, 8 à 13 °C	x						
26/01/2018	Nuageux, 6 à 7 °C	x						
27/01/2018	Nuageux, 0 à 5 °C	x						
02/02/2018	Nuageux, 0 à 5 °C	x						
02/05/2019	Couvert, averses, 6 à 14 °C	X						
03/05/2019	Couvert, averses, 7 à 13 °C	X						
04/06/2019	Ensoleillé, 13 à 30 °C	X			X			
Du 05/06/2019 au 13/06/2019	Éclaircies, averses, 13 à 27 °C							X
Du 14/06/2019 au 23/06/2019	Ensoleillé, 13 à 27 °C		X					X
24/06/2019	Ensoleillé, 19 à 30 °C		X		X			X
Du 25/06/2019 au 28/06/2019	Ensoleillé, 20 à 31 °C		X					X

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
Du 29/06/2019 au 03/07/2019	Ensoleillé, 15 à 30 °C							X
04/07/2019	Ensoleillé, 12 à 28 °C				X			X
Du 05/07/2019 au 23/07/2019	Ensoleillé, 18 à 30 °C							X
24/07/2019	Ensoleillé, 21 à 39 °C				X			X
30/07/2019	Eclaircies, 15 à 24 °C					X		
30/09/2019	Couvert, vent moyen, 11 à 18 °C					X		
02/12/2019	Couvert, <6 °C	X						
Du 17/12/2019 au 20/12/2019	Couvert, 11 à 15 °C	X						
24/12/2019	Couvert, <11 °C	X						
06/01/2020	Couvert, <8 °C	X						
07/01/2020	Couvert, <7 °C	X						X
08/01/2020	Couvert, <10 °C	X						
09/01/2020	Couvert, <11 °C	X						
11/01/2020	Couvert, <6 °C	X						
13/01/2020	Couvert, <8 °C	X						
14/01/2020	Couvert, <11 °C	X						
16/01/2020	Couvert, <14 °C	X						X
20/01/2020	Couvert, <6 °C	X						
21/01/2020	Ensoleillé, <7 °C	X						X
22/01/2020	Eclaircies, <6 °C	X						
23/01/2020	Couvert, <3 °C	X						X
29/01/2020	Couvert, <7 °C	X						X
30/01/2020	Couvert, <10 °C	X						X

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
04/02/2020	Couvert, <6 °C	X						X
05/02/2020	Couvert, <8 °C	X						
06/02/2020	Couvert, <9 °C	X						
07/02/2020	Ensoleillé, -2 à 10 °C							X
08/02/2020	Couvert, <10 °C	X						
11/02/2020	Couvert, <8 °C	X						
12/02/2020	Couvert, <7 °C	X						
Du 17/02/2020 au 20/02/2020	Couvert, 8 à 10 °C	X						
21/02/2020	Couvert, <9 °C	X						X
24/02/2020	Couvert, <12 °C	X						
25/02/2020	Couvert, <10 °C	X						
26/02/2020	Pluie/neige, 3 à 9 °C	X					X	
28/02/2020	Couvert, <7 °C	X						X
02/03/2020	Couvert, averses, 6 à 7 °C	X	X				X	
03/03/2020	**Nuageux, <6 °C**	**X**	**X**					
04/03/2020	Nuageux avec éclaircies, rares averses, 6 à 8 °C	X	X					
05/03/2020	Pluie, <9 °C						X	
06/03/2020	Pluie, <5 °C						X	
09/03/2020	Couvert, <10 °C	X						X
10/03/2020	Couvert, pluie, 10 à 11 °C	X					X	
11/03/2020	Partiellement dégagé, averses, 14 à 15 °C	X					X	X
12/03/2020	Couvert, averses, 7 à 12 °C							X
13/03/2020	Couvert, rares averses, 9 à 11 °C	X					X	
16/03/2020	Ensoleillé, 15 à 16 °C	X	X				X	

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
Du 26/03/2020 au 31/03/2020	Ensoleillé, -1 à 9 °C		X					
06/04/2020	Ensoleillé, 18 à 23 °C	X					X	
07/04/2020	Ensoleillé, 20 à 25 °C	X		X			X	
08/04/2020	Ensoleillé, 21 à 25 °C	X		X			X	
09/04/2020	Ensoleillé, 25 à 26 °C	X	X	X				
10/04/2020	Ensoleillé, 21 à 25 °C	X	X				X	
11/04/2020	Ensoleillé, rares averses, 13 à 21 °C	X					X	
14/04/2020	Ensoleillé, 14 à 20 °C	X	X	X				
15/04/2020	Ensoleillé, 21 à 24 °C	X		X				
16/04/2020	Ensoleillé, <24 °C	X	X					
17/04/2020	Couvert, <24 °C	X						
21/04/2020	Ensoleillé, <21 °C		X	X				
22/04/2020	Ensoleillé, 23 à 25 °C	X		X				
23/04/2020	Ensoleillé, <25 °C		X					
24/04/2020	Ensoleillé, <20 °C		X				X	
25/04/2020	Ensoleillé, 18 à 22 °C	X					X	
27/04/2020	Ensoleillé, 5 à 23 °C		X					
28/04/2020	Couvert, <18 °C	X						
30/04/2020	Pluie, vent moyen, 8 à 12 °C		X					
02/05/2020	Couvert, pluie faible, 13 à 15 °C	X					X	
03/05/2020	Nuageux, pluie, 17 à 18 °C			X			X	
04/05/2020	Couvert, averses, <18 °C		X			X	X	
05/05/2020	Couvert, 8 à 15 °C		X			X		
06/05/2020	Ensoleillé, 15 à 19 °C	X	X			X	X	
07/05/2020	Ensoleillé, 18 à 23 °C	X	X	X		X	X	
11/05/2020	Pluie, températures fraiches		X					
12/05/2020	Ensoleillé, <13 °C	X	X					
13/05/2020	Ensoleillé, <15 °C	X	X					
14/05/2020	Ensoleillé, <13 °C	X	X					
16/05/2020	Éclaircies, <21 °C	X						
18/05/2020	Ensoleillé, 19 à 23 °C	X	X	X			X	
19/05/2020	Ensoleillé, <25 °C	X	X	X		X		
20/05/2020	Ensoleillé, 22 à 27 °C	X		X		X	X	
21/05/2020	Ensoleillé, 13 à 26 °C					X		
22/05/2020	Ensoleillé, 13 à 26 °C					X		
25/05/2020	Ensoleillé, quelques nuages, 17 à 28 °C				X	X	X	
26/05/2020	Éclaircies, vent moyen, 17 à 26 °C				X	X	X	
27/05/2020	Ensoleillé, vent moyen, 18 à 29 °C	X		X	X	X	X	
28/05/2020	Ensoleillé, vent moyen, 17 à 28 °C				X	X		
29/05/2020	Ensoleillé, vent fort, 18 à 25 °C				X			
02/06/2020	Ensoleillé, <29 °C	X		X		X		
03/06/2020	Ensoleillé, <26 °C	X	X			X		
04/06/2020	Couvert, averses, <17 °C	X	X					
05/06/2020	Pluie, vent fort, 9 à 12 °C		X					
06/06/2020	Couvert, <18 °C	X						
07/06/2020	Couvert, <17 °C	X						
08/06/2020	Couvert, averses, 18 à 20 °C	X					X	
09/06/2020	Couvert, averses, 17 à 21 °C	X		X			X	

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
10/06/2020	Couvert, <19 °C	X						
11/06/2020	Couvert, <25 °C	X						
14/06/2020	Couvert, <20 °C	X						
15/06/2020	Ensoleillé, vent faible, 18 à 25 °C				X			
16/06/2020	Averses, vent faible, 18 à 25 °C	X			X			
17/06/2020	Pluie intense, vent fort, 13 à 16 °C	X			X			
18/06/2020	Éclaircies, vent faible, 16 à 25 °C	X			X			
19/06/2020	Éclaircies, vent faible, 13 à 22 °C	X			X			
20/06/2020	Couvert, <23 °C	X						
21/06/2020	Couvert, <24 °C	X						
22/06/2020	Ensoleillé, <22 °C	X	X			X		
23/06/2020	Ensoleillé, 24 à 29 °C	X	X	X		X	X	
24/06/2020	Ensoleillé, 25 à 31 °C	X	X	X		X	X	
25/06/2020	Ensoleillé, <31 °C	X	X			X		
26/06/2020	Ensoleillé, <29 °C	X	X					
27/06/2020	Couvert, <25 °C	X						
29/06/2020	Couvert, <23 °C	X				X		
30/06/2020	Couvert, <22 °C	X				X		
01/07/2020	Nuageux, <25 °C			X		X		
02/07/2020	Éclaircies, vent moyen, 15 à 21 °C					X		
Du 03/07/2020 au 05/07/2020	Couvert, 23 à 26 °C	X						
06/07/2020	Couvert, rares averses, 17 à 21 °C	X				X	X	
07/07/2020	Ensoleillé, 23 à 24 °C	X		X		X		
08/07/2020	Nuageux, 26 à 28 °C	X		X				
09/07/2020	Ensoleillé, 30 à 31 °C	X		X				X
10/07/2020	Éclaircies, 15 à 22 °C		X					
11/07/2020	Éclaircies, <23 °C	X						
15/07/2020	Averses, éclaircies, 21 à 23 °C	X				X	X	
16/07/2020	Couvert, <18 °C	X						X
17/07/2020	Couvert, <23 °C	X				X		X
18/07/2020	Couvert, <29 °C	X						
20/07/2020	Ensoleillé, vent faible, 24 à 30 °C	X		X	X	X	X	
21/07/2020	Ensoleillé, vent moyen, 20 à 28 °C	X		X	X	X		
22/07/2020	Ensoleillé, vent faible, 20 à 30 °C	X			X	X		
23/07/2020	Ensoleillé, vent faible, 20 à 30 °C	X		X	X	X		X
24/07/2020	Éclaircies, vent moyen, 20 à 28 °C	X			X			
26/07/2020	Couvert, <26 °C	X						
27/07/2020	Couvert, <32 °C	X	X			X		
28/07/2020	Éclaircies, rares averses, 23 à 27 °C	X	X	X			X	X
29/07/2020	Ensoleillé, <26 °C	X	X					X
30/07/2020	Ensoleillé, <33 °C	X	X					
31/07/2020	Ensoleillé, 33 à 39 °C	X	X	X			X	
01/08/2020	Couvert, <33 °C	X						
02/08/2020	Couvert, <25 °C	X						
04/08/2020	Couvert, <24 °C	X						
06/08/2020	Ensoleillé, 30 à 33 °C	X		X				
07/08/2020	Ensoleillé, <33 °C	X						
08/08/2020	Ensoleillé, <36 °C	X						

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
10/08/2020	Nuageux, <35 °C			X				
11/08/2020	Couvert, <35 °C	X						
12/08/2020	Ensoleillé, <35 °C	X	X					
13/08/2020	Ensoleillé, <31 °C		X	X				
17/08/2020	Ensoleillé, vent moyen, 23 à 30 °C				X	X		
18/08/2020	Averses, éclaircies, vent moyen, 20 à 27 °C	X		X	X	X	X	
19/08/2020	Éclaircies, vent moyen, 20 à 31 °C	X		X	X	X		
20/08/2020	Ensoleillé, vent faible, 24 à 37 °C	X		X	X	X		
21/08/2020	Couvert, averses, vent moyen, 25 à 28 °C				X			
24/08/2020	Couvert, <22 °C	X				X		
25/08/2020	Éclaircies, vent fort, 15 à 28 °C					X		
26/08/2020	Couvert, <23 °C	X						X
27/08/2020	Couvert, <25 °C	X						X
28/08/2020	Couvert, <21 °C	X				X		X
Du 29/08/2020 au 31/08/2020	Couvert, 16 à 21 °C	X						
Du 01/09/2020 au 03/09/2020	Couvert, 20 à 25 °C	X				X		
05/09/2020	Couvert, <21 °C	X						
06/09/2020	Couvert, <19 °C	X						
07/09/2020	Éclaircies, <22 °C	X				X		
08/09/2020	Ensoleillé, <26 °C	X				X		
09/09/2020	Nuageux, 26 à 27 °C	X		X		X		
10/09/2020	Couvert, <24 °C	X				X		X
11/09/2020	Couvert, <26 °C	X						X
13/09/2020	Éclaircies, <28 °C	X						
14/09/2020	Éclaircies, <32 °C	X				X		
15/09/2020	Couvert, <32 °C	X				X		
16/09/2020	Ensoleillé, 32 à 34 °C	X		X		X		X
17/09/2020	Couvert, <26 °C	X				X		
18/09/2020	Ensoleillé, <27 °C	X						
20/09/2020	Couvert, <27 °C	X						
22/09/2020	Éclaircies, <26 °C	X						
Du 23/09/2020 au 25/09/2020	Couvert, 11 à 23 °C	X						X
Du 28/09/2020 au 30/09/2020	Couvert, 11 à 17 °C	X						
12/10/2020	Couvert, <9 °C	X						
14/10/2020	Averses, éclaircies, 12 à 15 °C	X		X				
16/10/2020	Couvert, 7 à 10 °C							X
20/10/2020	Couvert, <15 °C	X						
21/10/2020	Couvert, <21 °C	X						
27/10/2020	Couvert, <11 °C	X						

7.3 Détail des prospections de terrain pour la ligne ferroviaire 027000

Tableau Annexe 7-4 Prospections de terrain pour la ligne ferroviaire 027000 (2018-2019)

Dates des inventaires	Conditions météorologiques et commentaires
Inventaires des habitats naturels et de la flore	
Entre juillet et septembre 2018	Prospections floristiques, identification des habitats naturels et semi-naturels, ainsi que des espèces végétales remarquables ou invasives
Inventaires des insectes (17 passages dédiés)	
06/03/2018	Pluie, vent faible, 5 à 10 °C – Pré diagnostic
23/04/2018	Ensoleillé, vent faible, 20 °C
24/04/2018	Nuageux, vent faible, 15 °C
28/05/2018	Variable, vent faible, 25 °C
31/05/2018	Variable, vent faible, 25 °C
04/06/2018	Ensoleillé, vent faible, 25 °C
05/06/2018	Ensoleillé, vent faible, 25 °C
08/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
20/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
21/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
22/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
29/06/2018	Ensoleillé, vent modéré, 25 °C
18/07/2018	Ensoleillé, vent modéré, 30 °C
23/07/2018	Ensoleillé, vent modéré, 30 °C
25/07/2018	Ensoleillé, vent modéré, 30 °C
20/08/2018	Ensoleillé, vent faible, 30 °C
10/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 20 °C
11/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 20 °C
Inventaires des amphibiens – reproduction et migration (7 passages dédiés)	
06/03/2018	Pluie, vent faible, 5 à 10 °C – Pré diagnostic
28/03/2018	Pluie, vent faible, 5 à 10 °C
17/04/2018	Ciel dégagé, vent faible, 15 °C
23/04/2018	Ensoleillé, vent faible, 20 °C
24/04/2018	Nuageux, vent faible, 15 °C
26/04/2018	Nuageux, vent faible, 15 °C
14/05/2018	Nuageux, vent faible, 13 °C
28/05/2018	Variable, vent faible, 25 °C
Inventaires des reptiles (19 passages dédiés)	
06/03/2018	Pluie, vent faible, 5 à 10 °C – Pré diagnostic
17/04/2018	Ciel dégagé, vent faible, 15 °C
23/04/2018	Ensoleillé, vent faible, 20 °C
24/04/2018	Nuageux, vent faible, 15 °C
26/04/2018	Nuageux, vent faible, 15 °C
28/05/2018	Variable, vent faible, 25 °C
31/05/2018	Variable, vent faible, 25 °C
04/06/2018	Ensoleillé, vent faible, 25 °C
05/06/2018	Ensoleillé, vent faible, 25 °C
08/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
20/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
21/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
22/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
29/06/2018	Ensoleillé, vent modéré, 25 °C
18/07/2018	Ensoleillé, vent modéré, 30 °C
23/07/2018	Ensoleillé, vent modéré, 30 °C
25/07/2018	Ensoleillé, vent modéré, 30 °C
20/08/2018	Ensoleillé, vent faible, 30 °C
10/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 20 °C
11/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 20 °C
Inventaires des oiseaux	
Février-mars 2018	1 visite de terrain – reconnaissance du site – Pré diagnostic
24/03/2018	Passage « migration prénuptiale » - NEOMYS
24/03 au 30/06/2018	Suivis spécifiques d'espèces patrimoniales (Cigogne noire, Milan royal, Milan noir, Busard cendré, Œdicnème criard, Pies-grièches, ...) - HIRRUS
23 au 26/03/2018	1er passage « rapaces nocturnes » - HIRRUS
24/04 au 02/05/2018	2e passage « rapaces nocturnes » - HIRRUS
19 au 23/06/2018	3e passage « rapaces nocturnes » - HIRRUS
29/03 au 10/04/2018	1er parcours « nicheurs » + IPA - NEOMYS
24/03 au 12/05/2018	2e parcours « nicheurs » + IPA - HIRRUS
28/05 au 05/06/2018	3e parcours « nicheurs » + IPA - NEOMYS
04 au 12/09/2018	1er passage « migration postnuptiale » - NEOMYS
25/09 au 24/10/2018	2e passage « migration postnuptiale » - NEOMYS
13/12/2018 au 06/01/2019	1er passage « hivernants » - HIRRUS
01 au 13/02/2019	2e passage « hivernants » - HIRRUS
05 au 22/03/2019	Passage « migration prénuptiale » - NEOMYS
Inventaires des mammifères terrestres	
Juin 2018 – 7 passages (20, 21, 26, 27, 28, 29, 30)	Pièges-photos, comptage au phare, prospection toutes espèces
Juillet 2018 – 7 passages (04, 05, 11, 18, 19, 24, 25)	Pièges-photos, comptage au phare
Août 2018 – 11 passages (01, 02, 06, 09, 10, 11, 16, 17, 21, 27, 28)	Pièges-photos, comptage au phare, prospection toutes espèces

Dates des inventaires	Conditions météorologiques et commentaires
Septembre 2018 – 16 passages (03, 04, 05, 06, 10, 11, 12, 13, 17, 18,19, 20, 24, 25, 26, 27)	Piégeage micromammifères, pièges-photos, piégeage Crossopes
Octobre 2018 – 4 passages (02, 03, 04, 19)	Pièges-photos, piégeage Crossopes
Novembre 2018 – 7 passages (07, 13, 19, 21, 22, 27, 30)	Pièges-photos, piégeage Crossopes
Décembre 2018 – 13 passages (03, 04, 05, 06, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 27)	Pièges-photos, piégeage Crossopes, comptage au phare, recherche Campagnol amphibie
Janvier 2019 – 13 passages (02, 04, 08, 09, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 23, 25, 28)	Recherche Chat forestier, pièges-photos, recherche Campagnol amphibie, comptage au phare
Février 2019 – 15 passages (01, 04, 06, 07, 08, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 25, 26, 27, 28)	Recherche Chat forestier, pièges-photos, recherche Campagnol amphibie, comptage au phare, prospection toutes espèces
Mars 2019 – 8 passages (05, 06, 12, 18, 19, 20, 21, 28)	Prospection toutes espèces

Inventaires des chauves-souris (11 passages dédiés)

06/03/2018	Pluie, vent faible, 5 à 10 °C – Pré diagnostic
14/05/2018	Variable, vent faible, 13 °C
16/05/2018	Variable, vent faible, 13 °C
18/05/2018	Variable, vent faible, 13 °C
04/06/2018	Ensoleillé, vent faible, 25 °C
06/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
07/06/2018	Variable, vent faible, 25 °C
18/07/2018	Ensoleillé, vent modéré, 30 °C
20/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 18 °C
21/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 18 °C
26/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 12 °C
28/09/2018	Ensoleillé, vent faible, 14 °C

7.4 Calendrier des sondages pédologiques pour identification des zones humides

Tableau Annexe 7-5 Calendrier des sondages pédologiques pour identification des zones humides

Date d'intervention	Conditions météorologiques	Intervenant
29/09/2021— 01/10/2021	Temps pluvieux	EGIS
04/10/2021 – 08/10/2021	Temps ensoleillé	
20/09/2021 – 24/09/2021	Temps ensoleillé	
16/09/2019	Temps ensoleillé	ONF
17/09/2019	Temps nuageux	
24/09/2019	Temps nuageux et ensoleillé	
26/09/2019	Temps nuageux avec pluie fine	
24/10/2016	Non précisé	FLORAGIS
07/2015	Non précisé	SYSTRA
12/2015	Non précisé	

Annexe 8 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces

8.1 Référentiel habitats et qualification de l'état de conservation

8.1.1 Les habitats d'eaux courantes :

- **A. Source, ruisseaux, rivières**

Il s'agit de toutes les eaux courantes naturelles, au moins à l'origine. Certaines catégories correspondent à des situations dégradées : pollution des eaux, cours rectifié, cours recalibré, lit endigué, fond bétonné, seuils formant barrière à la faune et aux sédiments, et ralentissant les eaux, colmatage des matériaux du fond, absence de végétation aquatique, etc. Ces situations ont des conséquences importantes sur la capacité d'accueil de la faune : difficultés à accéder à l'eau ou à en sortir, manque d'oxygène, offre alimentaire faible ou inadaptée, toxicité chronique ou aigüe, impact accru des évènements extrêmes, etc. Une situation non dégradée se caractérise par un cours naturel, souvent sinueux, souvent la présence d'une végétation aquatique, un fond naturel à fond caillouteux ou sableux, des berges non bétonnées et végétalisées, le plus souvent des ligneux, etc. Même si les berges sont notées dans une autre catégorie, leur naturalité et leur végétation sont des critères importants de la naturalité du cours d'eau lui-même.

Aa - Non naturel, avec coque en béton, fortement pollué	**Ab - Fortement artificialisé**	**Ac - Peu naturel**	**Ad - Moyennement naturel**	**Ae -Naturel**

- **B. Fossé, canal**

Il s'agit de linéaires aquatiques dont le cours a été créé par l'homme, avec eau courante ou stagnante (canaux), parfois temporaire (fossés). Leur origine artificielle n'est pas incompatible avec l'accueil de la biodiversité, d'où l'existence de plusieurs catégories. Cependant, les catégories les plus naturelles sont plus rares, et correspondent à des situations rares mimant des cours d'eau naturels, par exemple grâce à des aménagements spécifiques de renaturation.

Ba - Fortement artificialisé	**Bb - peu naturel**	**Bc - Moyennement naturel**	**Bd - Naturel**

8.1.2 Eaux stagnantes

- **C. Bras mort, étangs**

Il s'agit de plans d'eau naturels ou artificiels, mais anciens et associés à un cours d'eau, et d'assez grande superficie. Ils se caractérisent notamment dans les cas les plus naturels par des berges souvent en pentes douces et des "ceintures" de végétation rivulaire telles que des roselières, dans les secteurs les moins profonds. Ils jouent un rôle important pour la faune des milieux humides, et notamment les poissons : bras morts constituant des frayères naturelles végétalisées, étangs créés il y a plusieurs siècles pour une pisciculture extensive. Ce sont des lieux de reproduction de nombreux amphibiens, d'insectes aquatiques, et des sites d'alimentation ou de repos des oiseaux aquatiques en période de nidification, d'hivernage ou de migration. Certaines espèces rares de flore tant aquatiques que rivulaires s'y sont réfugiées. Cependant, ces plans d'eau peuvent aussi subir plusieurs facteurs de dégradation de leur naturalité, comme un reprofilage vertical des berges, la destruction des ceintures de végétation et des herbiers aquatiques, une pisciculture intensive, un jardinage ou un aménagement des berges pour des usages de loisir, des eaux eutrophes voire polluées, etc. Même si les berges sont notées dans une autre catégorie, leur naturalité et leur végétation sont des critères importants de la naturalité du cours d'eau lui-même.

Ca - Fortement artificialisé	**Cb - Peu naturel**	**Cc - Moyennement naturel**	**Cd - Naturel**

- **D. Mares, bassins**

Il s'agit de plans d'eau artificiels et déconnectés de tout cours d'eau. Leur origine artificielle n'est pas incompatible avec l'accueil de la biodiversité, d'où l'existence de plusieurs catégories. Ces plans d'eau sont de plusieurs types :

- ✓ les mares ont été créées dans les villages ou dans les pâturages pour abreuver le bétail, mais également pour beaucoup d'usages domestiques dans un contexte d'accès à l'eau rendu difficile par le substrat géologique karstique (ruisseaux rares et temporaires, accès aléatoire aux eaux de nappe) ;
- ✓ les mares peuvent héberger des herbiers aquatiques et des végétations rivulaires remarquables, et accueillir de nombreuses espèces de faune aquatique, et constituer des refuges et participer de la fonctionnalité des corridors humides.

Plusieurs facteurs de dégradation portent atteinte à la naturalité des mares : dégradation des berges par un entretien inapproprié ou par le bétail, dégradation des eaux par eutrophisation et pollutions diverses dépendant des usages sur les berges et dans le voisinage, présence de ragondins, artificialisation ou jardinage des berges en agglomération, etc. Les mares les plus naturelles sont donc celles aux berges en pente douce (au moins pour partie), à l'eau non polluée, non boueuse, situées en milieu prairial ou forestier, avec une végétation de berges et une végétation aquatique présentes et typiques :

- ✓ les plans d'eau artificiels de plus grande dimension sont plus récents : les fosses d'extraction de matériaux (rares dans le Barrois sauf dans les vallées des grandes rivières), les plans d'eau de loisir, les réserves d'eau imperméabilisées pour l'irrigation ou les incendies, etc.

Comme les mares ou les étangs, leur naturalité dépend de celle des berges et du fond, de la qualité de l'eau, de la présence d'une végétation aquatique ou rivulaire, etc.

Da - Fortement artificialisé	**Db - Peu naturel**	**Dc - Moyennement naturel**	**Dd -Naturel**

8.1.3 Forêts et lisières

- **E. Bandes boisées (lisières forestières avec arbustes) et boisements rivulaires**

Il s'agit soit : d'habitats arborés associés à un cours d'eau et à sa nappe alluviale, plus ou moins larges (boisements alluviaux) ou au contraire étroits et limités aux berges (bandes boisées : ripisylves), soit de bandes boisées en contexte de lisière forestière. Dans le Barrois, on les trouve en fond de vallon au bord des cours d'eau, plus souvent en milieu ouvert que forestier, dans un contexte de prairies ou d'anciennes prairies drainées et converties en cultures annuelles. Dans ce contexte, ils jouent à la fois un rôle d'habitat pour la faune forestière (la diversité des cortèges est alors liée à l'âge des peuplements), mais aussi de corridor boisé et d'écotone en milieu ouvert, pour un grand nombre d'espèces de faune et de flore des milieux ouverts et des lisières.

L'accueil de la biodiversité forestière y est plus important dans des peuplements âgés, indiquant une absence de dégradation récente, mais aussi une plus grande diversité de niches écologiques pour les espèces typiquement forestières, dont les espèces cavicoles. Concernant l'effet d'écotone, l'accueil de la biodiversité des milieux semi-ouvert dépend de la structure de végétation (une ou plusieurs strates) et de leur continuité, de leur densité, qu'il s'agisse de nidification, de corridor de déplacement, ou d'espace de vie préservé des pratiques d'entretien (végétation herbacée d'ourlet). Il est aussi fortement y dépendant de la qualité des milieux ouverts adjacents : des milieux très artificialisés (urbains, agricoles) ou affectés par un fort dérangement doivent être considérés comme à fonctionnalité réduite. Enfin, la végétation arborée rivulaire a un effet de purification de l'eau de la nappe alluviale, favorable de façon indirecte à la faune et à la flore du cours d'eau.

Ea - Plantation de résineux Pour les lisières : Faciès 1 : Arbres en bordure de forêt, sans buisson	**Eb - Jeunes individus (<13 cm de diam.) avec >70 % d'espèces autochtones en station Pour les lisières : Faciès 2 -> Cordons de buissons et arbustes peu étendus, surplombés par les arbres de bordure**	**Ec - Petits à bois moyens (14 à 49 cm de diam.) avec >70 % d'espèces autochtones en station Pour les lisières : Faciès 3 -> Cordons de buissons et arbustes qui s'étendent au-delà des arbres de bordure**	**Ed - Gros à très gros bois (50 à 80 cm de diam.) avec > 70 % d'espèces autochtones en station Pour les lisières : Faciès 4 -> Large cordon de buissons et arbustes et ourlet de hautes herbes**

- **F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques**

Les peuplements forestiers de feuillus en mélange (chêne, hêtre, érables, frêne, alisier, etc.) correspondent dans le Barrois aux forêts naturelles. Ces peuplements naturels sont en général issus de régénération naturelle, mais ils peuvent aussi être issus de semis.

La situation la plus courante dans le Barrois est celle de massifs forestiers anciens, souvent de grandes dimensions et âgés de plusieurs centaines d'années, et qui peuvent héberger l'ensemble des espèces de faune et de flore forestières.

Lorsqu'il ne s'agit pas d'une forêt ancienne, beaucoup des espèces d'invertébrés ou de flore seront absentes, car leur capacité de colonisation est très limitée. Il faut alors considérer la fonctionnalité du peuplement forestier comme dégradée pour la flore forestière, pour les insectes forestiers, notamment les insectes terrestres et ceux liés au bois mort, voire pour les amphibiens forestiers. Mais la fonctionnalité pour les mammifères et les oiseaux dépendent plus de la structure du peuplement.

La capacité d'accueil pour la biodiversité globale est d'autant plus importante que les niches écologiques sont nombreuses : différentes strates de végétation ligneuse, strate herbacée, grands arbres dominant la canopée, présence d'arbres morts au sol et sur pied de gros diamètre, cavités et bois mort dans les arbres, accumulation d'eau dans des cavités d'arbres ou à la fourche de branches, etc.

La diversité et la qualité de ces niches écologiques est très liée à l'âge des peuplements, qui dans le Barrois est elle-même reflétée dans le diamètre des arbres, sauf conditions pédoclimatiques exceptionnelles. Les peuplements dominés par des arbres jeunes sont pauvres en strates ligneuses, en bois mort de gros diamètre et en cavités d'arbres.

Dans le Barrois, les forêts ont une vocation de production de bois d'œuvre et de bois de feu (affouage notamment), et les pratiques du sylviculteur déterminent donc la note du peuplement. Les peuplements aux notes les plus élevées (Ff et Fg) correspondent souvent à des situations en pente forte et difficiles d'accès par les engins de débardage ou les véhicules des affoueurs, donc à une situation de relatif abandon. Les autres notes correspondent à des parcelles normalement exploitées, et la note dépend des modalités de gestion forestière (futaie équienne, futaie irrégulière, taillis, etc.) et du stade du cycle de production. La tempête de 1999 a aussi eu des conséquences importantes, en provoquant le retour à des stades jeunes (après nettoyage des chablis) dans les parcelles de production les plus affectées.

Fa - peuplements équiens stades jeunes D jusqu'à la classe 10 cm	**Fb - peuplements équiens stades jeunes D jusqu'à la classe 20 cm Gaulis et perchis Fourrés forestiers**	**Fc - Peuplements dominés par les Bois Moyens D jusqu'à la classe 40 cm Jeune futaie**	**Fd - Peuplements avec présence significative de Gros Bois D jusqu'à la classe 60 cm Futaie riche sur taillis**	**Fe - Peuplements avec présence significative de Très Gros Bois D classe 70 cm et plus Futaie moyennement riche sur taillis Futaie pauvre sur taillis Futaie ouverte en régénération**

- **G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier**

Il s'agit de plantations de résineux pour la production de bois. Dans le Barrois, toutes les essences résineuses ont été introduites par le forestier. Ces plantations sont très serrées et sombres (Ga), ce qui conduit souvent à la disparition de la faune et de la flore forestière des forêts de feuillus, qui dans le Barrois correspond à la situation "naturelle". En particulier, la strate herbacée typique peut disparaître et aura du mal à recoloniser la parcelle en cas de réouverture, du fait de ses faibles capacités de dissémination des graines (espèces indicatrices de forêts « anciennes »). C'est aussi le cas de certains insectes forestiers. On a donc pour ces espèces l'équivalent d'une interruption durable de « l'état boisé ».

Mais une certaine biodiversité forestière typique du Barrois peut être présente, soit pendant quelques années à la plantation avant la fermeture du couvert (Gb) avec des espèces des milieux ouverts et semi-ouverts, soit dans le cas de plantations « à trous » (Gc), où des feuillus ont pu se développer et maintenir la présence de l'habitat forestier naturel.

Les plantations denses et sombres ne peuvent accueillir que quelques espèces inféodées aux conifères eux-mêmes, notamment certains oiseaux (roitelets, certaines mésanges).

Dans le Barrois, les plantations de résineux ne sont pas rares. On en trouve de plusieurs types :

- des plantations âgées de pins (pin sylvestre, pin noir) dont ne susbsistent que des parcelles abandonnées, en surmaturité, et fortement recolonisées par les feuillus (lorsqu'ils dominent, on est pltôt dans la catégorie F) ;
- des plantations d'épicéas, de douglas, de sapin, de mélèzes, correspondant à une autre génération de pratiques sylvicoles, et à des cycles de production en cours. Les stades jeunes de ces plantations correspondent à la catégorie Gb, les stades fermés à Ga. Les plantations de mélèze, essence à feuilles caduques, laissent plus de place à la strate herbacée. Les plantations d'épicéa sont actuellement fortement affectées par les attaques de scolytes.

Ga - dense et fermée, sans strate herbacée ni feuillus spontanés	**Gb - stades jeunes encore ouverts, strate herbacée abondante et diversifiée**	**Gc - haute et fermée, mais fortement colonisée de feuillus spontanés**

- **H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien**

Dans le cas des plantations monospécifiques de feuillus typiques, la biodiversité est dégradée par rapport aux forêts naturelles mélangées, par absence de vieux arbres (elles suivent une coupe à blanc qui les a éliminés et sont souvent récoltées à un stade assez jeune - bois moyens) et de strate arbustive et, souvent, de strate herbacée.

À diamètre égal des arbres, leur capacité d'accueil est donc en général inférieure à celle des peuplements de feuillus mélangés typiques, issus de semis ou de régénération naturelle (catégorie F).

Une plantation de feuillu exotique présente des fonctionnalités nettement dégradées par rapport à des feuillus typiques. Ceci est en particulier dû au fait que de nombreux insectes phytophages sont très spécifiques d'une essence donnée, et que les essences exotiques n'ont pas été importées avec leur guilde d'insectes phytophages (quatre lépidoptères phytophages sur le Chêne rouge d'Amérique, pour une trentaine sur le Chêne pédonculé en France). L'offre alimentaire pour les insectivores est fortement dégradée, et donc les fonctionnalités pour les insectivores.

Dans le cas de plantations sur terre agricole, du fait de la faible capacité de colonisation des espèces typiquement forestières, la biodiversité est très faible. On a notamment une absence de strate herbacée typique (voire une absence tout court), et dans les stades les plus jeunes, encore ouverts, une strate herbacée de friche post-culturale ou de prairie. La fonctionnalité générale du peuplement pour la faune et la flore est donc dégradée par rapport à une localisation en forêt ancienne.

Ha - peuplements équiens stades jeunes D jusqu'à la classe 10 cm	**Hb - peuplements équiens stades jeunes D jusqu'à la classe 20 cm**	**Hc - Peuplements équiens de Bois Moyens D jusqu'à la classe 40 cm**	**Hd - Peuplements équiens de Gros Bois D à partir de la classe 50 cm**

8.1.4 Milieux semi-ouverts/buissonnants

- **I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet**

Cette catégorie correspond aux milieux semi-ouverts de friches et/ou d'ourlets herbacés colonisés de façon significative par les ligneux typiques, qu'il s'agisse d'arbres, d'arbustes ou de buissons, mais sans que la ou les strates ligneuses ferment le milieu. Par rapport aux friches herbacées sur sols naturels (catégories Q et P), la présence des ligneux en milieu ouvert améliore la capacité d'accueil pour de nombreuses espèces d'oiseaux (support de nidification) et de nombreux insectes, qui sont des espèces d'écotones. L'ouverture du milieu permet une floraison et une fructification maximales des espèces ligneuses, notamment des espèces de la fruticée, qui sont des sources d'alimentation pour les insectes floricoles et pour les oiseaux frugivores (notamment en hiver). L'absence de labour ou de traitements phytosanitaires est favorable à la production d'une biomasse importante d'insectes, source d'alimentation des insectivores.

L'intérêt de ces milieux pour les espèces dépend de la nature de la friche initiale : il est plus important pour les friches prairiales que pour les friches post-culturales, qui peuvent être colonisées par des néophytes et des nitrophytes, et présenter une faible diversité végétale.

La présence significative, voire exclusive, d'espèces exotiques envahissantes dans la strate ligneuse (notamment robiniers) est un facteur de perte de fonctionnalité pour l'habitat.

Il est à noter que ces habitats sont un faciès temporaire d'évolution des milieux ouverts abandonnés vers la forêt, qui est le stade ultime naturel d'évolution des habitats dans le Barrois. Mais les prairies et pelouses naturelles de fort intérêt floristique et entomologique sont actuellement en voie de forte régression dans le Barrois, soit par mise en culture, soit par abandon, et ces faciès d'embroussaillement partiel sont donc un des habitats de présence résiduelle de leurs cortèges typiques menacés. Ces faciès sont aussi un habitat refuge des espèces végétales d'ourlet forestier et de toutes les espèces animales d'écotones, dont de nombreux insectes.

Les faciès d'embroussaillement fermés correspondent à la catégorie K et ne sont pas pris en compte ici.

Ia - Part des néophytes, nitrophytes > 25% dans la strate herbacée	**Ib - Part des néophytes, nitrophytes < 25% dans la strate herbacée**	**Ic - Peu ou pas de néophytes et nitrophytes dans la strate herbacée, et celle-ci est peu diversifiée et/ou présente un faible recouvrement au sol**	**Id - Peu ou pas de néophytes et nitrophytes dans la strate herbacée, et celle-ci est diversifiée et à fort recouvrement au sol**

- **J. Végétation des clairières et coupes forestières**

Il s'agit d'une végétation herbacée associant espèces du sous-bois et espèces propres aux coupes forestières, et qui ne germent et/ou ne se développe qu'à leur occasion. C'est une végétation de friche, présente de façon temporaire, et qui peut être haute, très fleurie, et très accueillante pour l'abri et l'alimentation de la faune. Les ronces peuvent notamment y être abondantes, bien fleuries, et produire beaucoup de nectar, de pollen et de mûres, ce qui n'est pas le cas lorsqu'elles sont en sous-bois. La capacité d'accueil pour la petite faune vertébrée (micromammifères, reptiles) et invertébrée (notamment certains papillons) est alors élevée. La situation de friche et de sol nu suivant la coupe est favorable à certaines espèces nitrophiles, mais aussi à certaines exotiques invasives (solidages américains, Cerisier tardif, Robinier). Ces espèces sont peu présentes dans le Barrois. Leur présence est un facteur de perte de fonctionnalité de l'habitat.

Ja - Part des néophytes, nitrophytes 25- 50 %	**Jb - Part des néophytes, nitrophytes < 25 %**	**Jc - très faible recouvrement des néophytes et nitrophytes, et végétation herbacée peu présente et peu diversifiée**	**Jd - très faible recouvrement des néophytes et nitrophytes, et végétation herbacée diversifiée**

- **K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés**

Dans le Barrois, il s'agit de fourrés d'épineux se développant sur les parcelles en déprise, ou sur des talus difficiles à cultiver et dont l'entretien a été abandonné.

Les arbustes de la « fruticée » sont riches en fleurs et en baies, et sont des supports de nids pour les oiseaux des milieux ouverts et semi-ouverts.

Dans le Barrois, ces fourrés sont en général constitués d'espèces typiques spontanées : Prunellier, Noisetier, Cornouiller sanguin, Cornouiller mâle, Poirier sauvage, Aubépine, Troène d'Europe, etc. La présence d'espèces non autochtones est une forme de dégradation qui est déjà prise en compte dans la notation.

Une trop faible superficie du fourré associée à des habitats voisins peu accueillants conduisent à une dégradation de sa fonctionnalité écologique.

Ka - Part des néophytes, nitrophytes 25- 50 %	**Kb - Part des néophytes, nitrophytes 5-25 %**	**Kc - Présence non significative des néophytes et nitrophytes, espèces ligneuses adaptées au milieu peu diversifiées (1 à 3 espèces)**	**Kd - Présence non significative des néophytes et nitrophytes, espèces ligneuses adaptées au milieu diversifiées (plus de 3 espèces)**

- **L. Haies mélangées/mixtes**

Dans le Barrois, les haies sont très peu présentes historiquement. La partition du territoire entre openfields et forêts date d'avant la deuxième guerre mondiale, et est probablement très ancienne.

Dans ce contexte, les haies à évaluer seront principalement celles créées par l'Andra, qu'il s'agisse d'alignements ligneux à vocation paysagère et ornementale aux abords de ses installations, ou de haies champêtres en cœur de territoire agricole.

Les haies sont pour la faune à la fois des sites de nidification, des sites d'alimentation (insectes, fruits), des refuges (micromammifères, amphibiens, reptiles), et des corridors biologiques au sein d'un espace cultivé constituant une barrière aux déplacements (petite faune terrestre, mais aussi certaines chauves-souris). Leur composition et leur continuité sont donc déterminantes dans leur note.

La - Espèces ligneuses adaptées au milieu < 50 % et une strate basse continue ou discontinue	**Lb - Espèces ligneuses adaptées au milieu de 50 % à <70 %, et une strate haute discontinue**	**Lc - Espèces ligneuses adaptées au milieu >70 % et au moins deux strates, la strate basse étant continue**	**Ld - Espèces ligneuses adaptées au milieu >70 % et au moins deux strates, la strate basse étant continue, et haie large de plusieurs mètres ou adossée à une bande enherbée de plusieurs mètres de large**

8.1.5 Milieux ouverts

- **M. Pelouses calcicoles**

Les pelouses sont des végétations herbacées maigres, dont la biomasse est limitée par le manque d'eau et/ou de fertilité du substrat. Ces conditions limitent la compétition entre espèces pour la lumière, ce qui conduit à des cortèges végétaux très diversifiés et, souvent, très fleuris, et très accueillants pour des cortèges d'insectes diversifiés et menacés.

Dans le Barrois, les pelouses sont associées à des sols calcaires maigres, historiquement valorisés par pâturage ovin (parcours). Elles ont fortement régressé par abandon et embroussaillement, par boisement ou par labour, selon la pente et l'épaisseur des sols. Les dernières pelouses sont relictuelles, et ont souvent conduit à la désignation de sites Natura 2000, où leur état de conservation est souvent dégradé.

Les pelouses bien exprimées ont une capacité d'accueil importante pour de nombreuses espèces de faune, qu'il s'agisse d'insectes patrimoniaux, d'oiseaux, de reptiles, etc. Les pelouses mal exprimées sont beaucoup moins accueillantes : moins d'insectes et, souvent, des insectes moins accessibles.

Ma - Mal à moyennement exprimé	**Mb - Bien exprimé**	**Mc - Très bien exprimé**

- **N. Prairies intensives de fauche ou pâturage**

Les prairies sont des végétations herbacées denses exploitées par le pâturage et/ou la fauche, pour la production de fourrage.

Dans le Barrois, l'abandon progressif de l'élevage a raréfié les prairies, qui ne subsistent le plus souvent que dans les fonds de vallée difficilement cultivables. Il s'agit souvent de prairies intensives.

Les prairies intensives font l'objet de pratiques intensives de fertilisation et d'exploitation, avec un retour fréquent du pâturage, des fauches répétées et précoces, etc. Elles sont souvent issues du semis d'un petit nombre d'espèces fourragères.

Mais même dans le cas de prairies permanentes, la diversité végétale est faible, car peu d'espèces sont capables de résister à la concurrence des espèces les mieux adaptées et à l'intensité de l'exploitation. Le nombre d'espèces végétales est d'autant plus grand que la prairie est âgée et que la gestion est peu intensive. Les insectes et les oiseaux nichant au sol sont eux aussi très sensibles à la fréquence d'exploitation.

Malgré leur faible diversité floristique, les prairies intensives offrent à la biodiversité une capacité d'accueil plus importante que les cultures annuelles, du fait de l'absence de travail du sol, d'une certaine diversité floristique servant de refuge et d'alimentation, et le plus souvent d'une absence de traitements phytosanitaires.

La biomasse d'insectes fournie aux insectivores est encore faible dans les prairies temporaires jeunes de la catégorie Na, et n'atteint son maximum qu'à partir de la catégorie Nb, assez âgée pour que les insectes colonisateurs aient pu développer des effectifs importants.

Na - Prairie agricole semée jeune (moins de 2 ans)	Nb - Prairie intensive pauvre en espèces végétales ou prairie agricole semée âgée (>5 ans)	Nc - Prairie intensive, riche en espèces végétales

- **O. Prairies extensives de fauche ou pâturages en conditions mésophiles**

Les prairies sont des végétations herbacées denses exploitées par le pâturage et/ou la fauche, pour la production de fourrage.

Les prairies extensives sont des prairies permanentes dominées par des espèces végétales spontanées, adaptées aux conditions d'exploitation dominante (la fauche ou le pâturage).

Les pratiques extensives de fertilisation (modérée) et d'exploitation (pas de fauche précoce, faible charge de pâturage), conduisent à un cortège végétal diversifié et, souvent, très fleuri. Beaucoup d'espèces végétales peuvent accomplir leur cycle de reproduction (au printemps ou à l'automne) et se maintenir à long terme.

La diversité et la biomasse d'invertébrés sont importantes. La diversité des invertébrés, et surtout des insectes, est très dépendante de la diversité et de la typicité du cortège végétal (prairies bien et très bien exprimées). C'est beaucoup moins le cas de la biomasse d'invertébrés, et donc de l'offre alimentaire pour les insectivores, qui peut être composée d'un petit nombre d'espèces aux effectifs importants.

Ces prairies sont devenues exceptionnelles dans le Barrois. Plus que les pelouses, elles permettent une production de biomasse importante lorsqu'elles sont intensifiées (prairies intensives) ou converties en cultures (la qualité des sols le permet souvent).

Plus les modalités de gestion sont extensives et stables, plus la diversité floristique est forte et typique des prairies (au sein phytosociologique). Une prairie « bien exprimée » (Ob) est riche est fleurs, colorée (fleurs jaunes, blanches, roses, mauves). Elle est composée de nombreuses espèces bien mélangées sans qu'aucune ne domine le mélange et ne forme de taches monospécifiques. Ces espèces sont considérées comme communes, c'est à dire qu'elles sont très répandues à l'échelle du Barrois et, plus largement, du nord-est de la France, mais avec la disparition de l'élevage, elles sont de plus en plus réfugiées sur les bords de routes.

La présence de Knauties ou de Scabieuses pourrait être un caractère indicateur des prairies bien exprimées. Ces prairies « naturelles » peuvent héberger de nombreuses espèces d'insectes prairiaux absents des prairies dégradées ou des prairies à gestion intensive.

Il y a une continuité entre les prairies les plus maigres et les pelouses (catégorie M).

Les prairies hygrophiles ont été placées dans la catégorie U.

Oa - Mal à moyennement exprimée	Ob - Bien exprimée	Oc - Très bien exprimée

- **P. Friches post-culturales et jachères**

Les friches post-culturales et jachères sont des parcelles agricoles dont le sol a été perturbé par les travaux du sol, la fertilisation et les éventuels résidus de traitements phytosanitaires, mais qui ne sont pas exploitées au moment de la notation, par abandon (déprise agricole) ou par choix (jachère). L'abandon pouvant conduire à terme à une colonisation de ligneux plus ou moins importante, pouvant faire basculer en catégorie I

La faune et la flore des friches post-culturales se caractérise par ses très fortes capacités de colonisation, contrairement aux espèces prairiales ou forestières.

En l'absence de cultures se développe une végétation herbacée d'abord dominée par les annuelles, et progressivement colonisée par les vivaces voire des arbustes.

Pa - végétation discontinue et limitée aux adventices des grandes cultures et aux repousses de la culture précédente	Pb - jachère semée	Pc - friche ou jachère de longue durée, riche en espèces végétales, sur sol riche en éléments nutritifs	Pd - friche ou jachère de longue durée, riche en espèces végétales, sur sol calcaire superficiel

- **Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces**

Il s'agit de prairies et pelouses abandonnées suite à la déprise de l'élevage, et dont le cortège végétal évolue vers l'ourlet, avec absence ou présence très faible des ligneux. Les faciès d'embroussaillement avec présence significative de ligneux correspondent à la catégorie I.

Dans le Barrois, les conditions pédoclimatiques permettent le développement de forêts, qui constituent la végétation naturelle en l'absence de gestion. Les prairies et pelouses sont des habitats « naturels » créés et entretenus par les activités humaines, notamment pour l'alimentation des animaux d'élevage. Ils sont maintenus dans un état stable, auquel correspond un cortège végétal particulier de prairie ou de pelouse par la récurrence annuelle des opérations d'exploitation, à savoir la fauche et/ou le pâturage, voire la récolte de bois de feu et l'écobuage (pratiques disparues).

À l'arrêt de ces pratiques, le plus souvent par déprise de l'élevage à l'échelle du territoire, les cortèges végétaux typiques sont colonisés par des espèces herbacées d'ourlet parfois très compétitives, qui déplacent les espèces typiques et peuvent appauvrir un cortège végétal aujourd'hui menacé, et la faune invertébrée qu'il héberge. Les capacités d'accueil des friches prairiales pour la faune peuvent également se réduire du fait de l'étouffement de la végétation par la biomasse auparavant exportée sous forme de fourrage.

Plus ou moins rapidement, ces friches prairiales sont colonisées par les ligneux de la fruticée (Aubépine, Prunellier, Noisetier, etc.), voire par les essences forestières (Chêne notamment), et rejoignent la catégorie I, puis les catégories K (fourrés) et F (peuplements forestiers feuillus mélangés).

Les catégories expriment le maintien plus ou moins important de la flore de prairie ou de pelouse précédent l'abandon, qui dépend de l'ancienneté de l'abandon, mais aussi de nombreux facteurs de sol, d'histoire de la parcelle, etc.

Qa - Friche issue de prairie semée pauvre en espèces	Qb - Friche issue de prairie permanente, à la végétation prairiale mal à moyennement exprimée	Qc - Friche issue de prairie permanente, à la végétation prairiale bien exprimée	Qd - Friche issue de prairie permanente, à la végétation prairiale très bien exprimée

- **R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés**

Il s'agit des végétations qui se développent sur des substrats remaniés par les activités humaines, qui ne sont même parfois pas assimilables à des sols : matériaux de remblai, sols dégradés et remaniés par des moyens mécaniques, terrains vagues, friches industrielles, etc.

Même en absence de sol constitué, une végétation de friche peut se développer, dont les strates herbacées et ligneuses peuvent présenter des capacités d'accueil non négligeables pour la faune et une certaine flore.

Les substrats rudéraux sont souvent eutrophes, et les friches rudérales sont connues pour être souvent colonisées par les espèces exotiques invasives (les « néophytes »), voire d'être la porte d'entrée des territoires pour ces espèces. C'est notamment le cas dans le Barrois, où les autres habitats sont peu colonisés par les néophytes. Les espèces les plus fréquentes sont le Robinier, les renouées asiatiques, les solidages américains, les vignes américaines, l'Ailante du Japon, le Buddleja. Les nitrophytes sont celles du Chenopodion muralis et de l'Arction lappae.

Toutes les sous-catégories peuvent être colonisées par des ligneux, jusqu'à fermeture totale du milieu (passage aux catégories K et F, dans une forme dégradée rudérale). Les ligneux sont ceux de l'Ormaie rudérale, souvent avec une forte proportion d'essences invasives.

Cette catégorie n'intègre ni les friches post-culturales sur sol agricole constitué (catégorie P.) ni les friches prairiales (catégorie Q.). Les substrats artificiels encore nus correspondent à la catégorie Zb.

Ra - Part des néophytes > 25 %, part de nitrophytes > 50 % et absence de ligneux	**Rb - Part des néophytes > 25 %, part de nitrophytes > 50 % et présence significative de ligneux**	**Rc - Part des néophytes < à 25 %, et part des néophytes, nitrophytes < à 50 %, et absence de ligneux**	**Rd - Part des néophytes < à 25 %, et part des néophytes, nitrophytes < à 50 %, et habitat semi-ouvert avec présence significative de ligneux**

8.1.6 Milieux ouverts humides

- **S. Prairies hygrophiles**

Les prairies hygrophiles sont des prairies se développant sur des sols humides, gorgés d'eau au moins une partie de l'année.

Les conditions d'humidité du substrat se traduisent par la présence d'espèces différentes de flore et d'invertébrés dans le cortège prairial, mais aussi par une évolution différente, et souvent plus rapide, en cas d'abandon de la parcelle : mégaphorbiaie (catégorie T) suivie d'un embroussaillement rapide. Ceci justifie une catégorie différente de la catégorie O, mais les critères de notation sont les mêmes pour ce qui concerne les critères d'expression du cortège prairial typique.

Le semis d'espèces fourragères ou des conditions intensives de gestion banalisent fortement ces prairies, ce qui renvoi à la catégorie N, où l'effet de l'humidité du substrat est moins important dans la capacité d'accueil.

Sa - Mal à moyennement exprimée	**Sb - Bien exprimée**	**Sc - Très bien exprimée**

- **T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies**

Il s'agit de végétations herbacées plus ou moins hautes selon la fertilité, qui se développement sur sols très humides, voire les pieds dans l'eau au moins une partie de l'année. Elles sont très diverses, en fonction de la nature des sols (minéral, tourbeux) et des conditions hydriques (mouillé en permanence, séchant, etc.).

Dans le Barrois, on les trouve en fond de vallée ou de vallon, associés aux cours d'eau ou aux queues d'étangs, aux friches prairiales hygrophiles, mais aussi à la strate herbacée des peupleraies plantées sur d'anciennes prairies hygrophiles.

Ces types de végétation sont associés à une faune et à une flore particulière. La flore est parfois peu diversifiée (roselières et cariçaçies sont souvent dominées par une espèce unique), mais elle offre à une faune spécialisée des conditions d'accueil très originales : oiseaux des zones humides, certains insectes, etc. Beaucoup de ces espèces sont menacées du fait de la raréfaction des zones humides.

Les mégaphorbiaies sont des végétations temporaires riches en fleurs sur sol humide riche, résultant souvent de l'abandon de prairies hygrophiles, qui peuvent être stabilisées dans le temps par une gestion adaptée. Elles sont remplacées par les magnocariçaies sur sols humides moins riches. Les roselières sont quant à elles des végétations plus durables, les pieds dans l'eau, le plus souvent en bord d'étang ou de fossé, mais qui peuvent aussi coloniser les prairies hygrophiles à gestion très extensive, ou la strate herbacée des peupleraies.

Les eaux qui les alimentent étant souvent enrichies par les rejets urbains et les pratiques agricoles intensives sur le bassin versant, ces végétations sont souvent riches en espèces eutrophiles ou nitrophiles (dont les orties). Lorsque leur présence est trop importante, il s'agit d'un facteur de dégradation à signaler.

De même, ces végétations peuvent être colonisées par des espèces exotiques invasives. Leur présence significative est prise en compte par la sous-catégorie Ta.

Ta - Part de néophytes significative (recouvrement > 5%)	**Tb - Roselières au sens large, avec néophytes < 5%**	**Tc - Cariçaies, avec néophytes < 5%**	**Td - Mégaphorbiaies, avec néophytes < 5%**

8.1.7 Milieux agricoles

- **U. Cultures**

Les cultures occupent une partie importante du Barrois. Il s'agit en très grande majorité de parcelles agricoles organisées en openfields, et cultivées en agriculture conventionnelle (fertilisation non limitante, persticides de synthèse), le plus souvent avec labour. Les cultures les plus fréquentes sont le colza, les céréales à paille d'hiver ou de printemps, mais aussi plus ponctuellement le maïs ou le tournesol.

Les catégories se différencient par l'offre alimentaire à la faune, très contrainte sur les parcelles agricoles :

- ✓ le labour détruit les populations d'invertébrés et de micromammifères, qui doivent recoloniser la parcelle depuis ses bordures. La biomasse offerte est faible ;
- ✓ les traitements herbicides systématiques réduisent fortement l'offre de petites graines qui sont déterminantes pour de nombreuses espèces d'oiseaux en période internuptiale ;
- ✓ les traitements insecticides et molluscicides impactent fortement la diversité et la biomasse des invertébrés recherchés par les insectivores.

Le Barrois se caractérise par une grande diversité de substrats géologiques jurassiques calcaires, avec des marnes ou au contraire des calcaires massifs donnant des sols caillouteux et drainants, difficiles à valoriser. Ces derniers sont les plus accueillants.

Ua - Champ fortement fertilisé, avec traitements insecticides et herbicides systématiques	**Ub - Champ peu fertilisé et peu ou pas traité, mais labouré (Agriculture biologique)**	**Uc - Champ peu fertilisé et non traité, mais labouré, sur sol superficiel calcaire (conservatoire de messicoles)**	**Ud - Champ géré sans labour et avec couverture permanente des sols, souvent sans traitements insecticides (Agriculture de conservation)**

8.1.8 Milieux plantés ou anthropiques

- **V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à >70 % d'essences en station**

Il s'agit d'arbres en contexte non forestier, et ne constituant pas des haies : arbres isolés, arbres d'alignement.

Leur intérêt pour la biodiversité dépend de leur âge (arbres sénescents, à cavités : Vd) et de leur origine (les arbres horticoles d'origine exotique accueillent très peu d'insectes, et sont donc une source d'alimentation beaucoup moins intéressante pour les oiseaux que les essences autochtones).

Va - Jeunes individus (<13 cm de diam.)	**Vb - Petits à bois moyens (14 à 49 cm de diam)**	**Vc - Gros à très gros bois (50 à 80 cm de diam.)**	**Vd - Très gros et vieux arbres (diam. > ou égal 100 cm)**

- **W. Vergers**

Les vergers sont des peuplements ouverts d'arbres, dont l'intérêt pour la faune et la flore dépend de plusieurs facteurs :

- ✓ l'enherbement au sol : sol nu (Wa), enherbement de l'entrerang (Wb), prairie naturelle (Wc et Wd) ;
- ✓ l'âge des arbres, les vieux vergers de haute tige accueillant un cortège d'oiseaux cavicoles menacés (Wc et Wd).

Dans le Barrois, les vergers sont rares et plutôt associés aux villages. Les vergers de hautes tiges anciens correspondent le plus souvent aux catégories Wc er Wd, alors que les vergers plus jeunes à vocation commerciale et utilisant des méthodes modernes (arbres nanifiés plantés à haute densité, traitements phytosanitaires fréquents, etc.) correspondent selon la gestion de l'enherbement aux catégories Wa et Wb.

Wa - arbres sans cavités, sol nu	**Wb - arbres sans cavités, sol partiellement ou totalement enherbé**	**Wc - arbres âgés avec cavités sur prairie naturelle mal à moyennement exprimée**	**Wd - arbres âgés avec cavités sur prairie naturelle bien exprimée**

- **X. Espaces verts et jardins en contexte de villages**

Il s'agit d'espaces à vocation ornementale en accompagnement de bâtiments ou d'infrastructures, où la gestion des herbages ne suit pas une logique agricole, et où les ligneux sont souvent d'origine allochtone horticole.

La capacité d'accueil pour la biodiversité est d'autant plus faible que la gestion est intensive (fréquences de tonte élevées, herbe maintenue rase) et que les espèces ligneuses sont exotiques.

Mais même une haie arbustive taillée d'une espèce exotique peut héberger la nidification d'un oiseau peu exigeant.

Ce qui est noté ici est la capacité d'accueil de la végétation pour la faune des milieux ouverts et semi-ouverts, la flore étant secondaire. Mais même avec une structure de végétation et une offre alimentaire adaptées aux exigences d'une espèce donnée, les espaces verts peuvent être défavorables du fait d'une fréquentation humaine trop importante. La dégradation de la capacité d'accueil qui en résulte n'est pas prise en compte ici, mais est prise en compte par la pénalisation de jusqu'à deux niveaux d'intérêt selon les espèces en cas de fréquentation piétonne importante.

Xa - plantations horticoles sur bâche plastique	**Xb - Gazon et espaces verts dominés par des ligneux allochtones ou à gestion intensive**	**Xc - Espaces verts à gestion peu intensive pauvres en structures (arbres, buissons, haies...)**	**Xd - Espaces verts à gestion peu intensive riches en structures constituées de ligneux autochtones**

- **Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation**

Il s'agit de chemins plus ou moins larges obtenus par le seul tassement du sol et par la fréquence du passage des piétons, du bétail ou de véhicules.

La végétation est limitée à quelques espèces spécialisées, qui se développent dans les espaces les moins piétinés. Elle est une source d'alimentation pour la faune des milieux ouverts, notamment dans les espaces agricoles d'openfield, ou les bords de chemin sont parfois les seuls où une végétation spontanée est présente, avec quelques fleurs, quelques insectes, et la production de petites graines.

C'est aussi dans cette catégorie qu'ont été placées les toitures végétalisées, dans le substrat mince s'apparente aux substrats tassés des bords de chemins.

Dans le Barrois, on trouve ces chemins dans tous types de milieux ruraux, agricoles et forestiers. Cependant, de nombreux chemins agricoles ou forestiers ont été revêtus pour être carrossables en toute saison, ce qui renvoi à la catégorie Z.

Ya - Chemins sur sol eutrophe	**Yb - Chemins sur sol pauvre, pauvres en espèces ; toitures végétalisées pauvres en espèces, avec seulement des espèces plantées**	**Yc - Chemins sur sol pauvre, riches en espèces ; toitures végétalisées riches en espèces, notamment avec de nombreuses espèces spontanées**

- **Z. Sols imperméabilisés ou revêtus**

Il s'agit de toutes les surfaces artificialisées ne permettant pas le développement de la végétation.

Les sols revêtus (Zb) mais non imperméabilisés conservent certaines fonctions hydrauliques.

Il peut s'agir de certaines voiries dédiées à la desserte des parcelles agricoles ou forestières, mais aussi d'aménagements paysagers dans des parcs et espaces verts.

Za - Bâtiments, voiries équipées d'un revêtement imperméable, etc.	**Zb - Surfaces et chemins équipés d'un revêtement non imperméable (gravillons, etc.) - Surfaces couvertes dont le sol n'a pas été imperméabilisé**

L'intérêt de cette méthodologie réside dans le fait d'une homogénéisation des habitats d'espèces entre les habitats impactés, les habitats initiaux et habitats projetés sur les sites de compensation.

Ainsi, **cette classification a été appliquée sur les habitats initiaux de l'aire d'étude et des sites de compensation**. Pour les habitats projetés, après mesure, cette classification résidera dans l'efficacité des mesures de réduction et de compensation à viser la catégorie et donc la capacité d'accueil projeté des habitats d'espèces.

Une fois les grands types d'habitats et leurs catégories intrinsèques définis, l'intérêt de chaque catégorie a été notée en lien avec ses variables écologiques dont on suppose qu'elles peuvent avoir un effet prépondérant sur la sélection de l'habitat par l'espèce ou le cortège pour tout ou partie du cycle biologique (cf. Chapitre 8.3 du présent volume).

8.2 Détermination des cortèges d'espèces

Tableau Annexe 8-1 Cortèges des insectes

Cortèges des insectes	Espèces cibles
Cortège des insectes de prairies humides	Cuivré des marais, Grande violette
Cortège des insectes de ripisylves, bords de cours d'eau/ru	Agrion de Mercure, Cordulie à corps fin
Cortège des boisements clairs à tendance humide	Thécla de l'Orme et Petit collier argenté
Cortège des insectes des milieux prairiaux	Flambé, Mélitée des digitales, Zygène de la Coronille, Azuré bleu céleste

Tableau Annexe 8-2 Cortèges des amphibiens

Cortèges des amphibiens	Espèces cibles
Cortèges des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec ornières (reproduction)	Sonneur à ventre jaune, Salamandre tachetée
Cortèges des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec mares/étangs (reproduction)	Grenouille rousse, agile, Crapaud commun, Grenouille verte, Triton alpestre, Triton palmé
Cortèges des amphibiens des prairies humides	Pélodyte ponctué, Grenouille verte et rieuse
Cortège des amphibiens de bocage (prairies et structures ligneuses)	Sonneur à ventre jaune, Salamandre tachetée, Triton alpestre, ponctué, palmé, Grenouille agile, rousse, Grenouille verte et Crapaud commun
Cortège des milieux anthropiques de villages (mares, lavoirs, jardins)	Alyte accoucheur

Tableau Annexe 8-3 Cortèges des reptiles

Cortèges des reptiles	Espèces cibles
Cortège des reptiles des milieux bocagers	Vipère aspic, Lézard des souches, Couleuvre verte et jaune, Coronelle lisse, Lézard des murailles, Lézard vivipare
Cortège des reptiles des milieux forestiers	Lézard vivpare, Orvet fragile, Lézard des murailles

Cortèges des reptiles	Espèces cibles
Cortège des milieux aquatiques	Couleuvre à collier

Tableau Annexe 8-4 Cortèges des oiseaux

Cortèges des oiseaux	Espèces cibles
Cortège des oiseaux nichant au sol dans les parcelles agricoles	Alouette des champs, Busard St-Martin, Busard cendré, Oedicnème criard
Cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert (structure prairies/pelouses/haies/agricoles)	Alouette lulu, Pie-grièche écorcheur, Tarier pâtre, Chardonneret élégant, Linotte mélodieuse, Verdier d'Europe, Bruant jaune, Torcol fourmilier, Moineau friquet
Cortège des oiseaux des milieux forestiers âgés	Pic épeichette, Pic mar, Pic noir, Grimpereau des bois, Roitelet huppé, Gobemouche noir, Pouillot siffleur
Cortège des oiseaux de lisières, forestiers jeunes ou ouverts, fourrés	Gobemouche gris, Bouvreuil pivoine, Pouillot fitis, Verdier d'Europe, Bruant jaune, Pouillot siffleur, Serin cini
Cortège des oiseaux des milieux aquatiques, bordés ou non de ripisylves, fourrés	Cincle plongeur, Locustelle tâchetée, Martin-pêcheur d'Europe, Petit gravelot
Cortège des oiseaux des milieux pionniers à tendance humides	Petit gravelot

Tableau Annexe 8-5 Cortèges des mammifères (hors chiroptères)

Cortèges des mammifères (hors chiroptères)	Espèces cibles
Cortège des mammifères des milieux forestiers	Chat forestier, Muscardin, Écureuil roux
Cortège des mammifères des milieux bocagers/lisières	Hérisson d'Europe, Putois d'Europe, Chat forestier
Cortège des mammifères des milieux humides/aquatiques	Putois d'Europe, Crossope aquatique

Tableau Annexe 8-6 Cortèges des chiroptères

Cortèges des chiroptères	Espèces cibles
Cortèges des chiroptères des milieux forestiers (humides ou non) en chasse	Grand Rhinolophe, Barbastelle d'Europe, Murin à oreilles échancrées, Noctule commune, Noctule de Leisler, Pipistrelle de Nathusius, Murin d'Alcathoé, Murin de Brandt, Murin de Natterer, Oreillard roux/gris,
Cortèges des chiroptères de lisières/bocage en chasse et en transit	Barbastelle, Grand Rhinolophe, Petit Rhinolophe, Sérotine commune, Murin à oreilles échancrées, Murin de Beschstein, Grand murin, Noctule commune ; Pipistrelle de Nathusius, Murin de Natterer
Cortège des chiroptères de vallées/cours d'eau en chasse et en transit	Grand Rhinolophe, Murin de Daubenton, Noctule de Leisler, Pipistrelle de Nathusius, Murin d'Alcathoé, Petit rhinolophe, Murin à Moustaches, Pipistrelle pygmée
Cortège des chiroptères ubiquistes et anthrophiles	Pipistrelle commune, Murin à moustaches, Sérotine commune

8.3 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces par cortège

8.3.1 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des insectes

Tableau Annexe 8-7 Matrice du cortège des insectes de prairies humides

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc	
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb		

Tableau Annexe 8-8 Matrice du cortège des insectes de ripisylves, bords de cours d'eau/ru

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc	
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc	
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb		

Tableau Annexe 8-9 Matrice du cortège des insectes des boisements clairs à tendance humide

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation			
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc	
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc	
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb		

Tableau Annexe 8-10 Matrice du cortège des insectes des milieux prairiaux

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à >70 % d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

8.3.2 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des amphibiens

Tableau Annexe 8-11 Matrice du cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec mares/étangs (reproduction)

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-12 Matrice du cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec ornières (reproduction)

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-13 Matrice du cortège des amphibiens des prairies humides

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-14 Matrice du cortège des amphibiens de bocage (prairies et structures ligneuses)

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-15 Matrice du cortège des amphibiens des milieux anthropiques de villages (mares, lavoirs, jardins)

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

8.3.3 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des reptiles

Tableau Annexe 8-16 Matrice du cortège des reptiles des milieux forestiers

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-17 Matrice du cortège des reptiles des milieux bocagers

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-18 Matrice du cortège des reptiles des milieux aquatiques

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

8.3.4 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des oiseaux

Tableau Annexe 8-19 Matrice du cortège des oiseaux nichant au sol dans les parcelles agricoles

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-20 Matrice du cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert (structure prairies/pelouses/haies/agricoles)

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-21 Matrice du cortège des oiseaux des milieux forestiers âgés

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-22 Matrice du cortège des oiseaux de lisières, forestiers jeunes ou ouverts, fourrés

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-23 Matrice du cortège des oiseaux des milieux aquatiques, bordés ou non de ripisylves, fourrés

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-24 Matrice du cortège des oiseaux des milieux pionniers à tendance humides

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

8.3.5 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des mammifères (hors chiroptères)

Tableau Annexe 8-25 Matrice du cortège des mammifères des milieux forestiers

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-26 Matrice du cortège des mammifères des milieux bocagers/lisières

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-27 Matrice du cortège des mammifères des milieux humides/aquatiques

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

8.3.6 Matrice des niveaux d'intérêt des habitats des chiroptères

Tableau Annexe 8-28 Matrice du cortège des chiroptères des milieux forestiers (humides ou non) en chasse

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-29 Matrice du cortège des chiroptères de lisières/bocage en chasse et en transit

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-30 Matrice du cortège des chiroptères de vallées/cours d'eau en chasse et en transit

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Tableau Annexe 8-31 Matrice du cortège des chiroptères ubiquistes et anthrophiles

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
Eaux courantes	A. Source, ruisseaux, rivières	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae		
	B. Fossé, canal	Ba	Bb	Bc	Bd			
Eaux stagnantes	C. Bras mort, étangs	Ca	Cb	Cc	Cd			
	D. Mares, bassins	Da	Db	Dc	Dd			
Forêts, lisières et bosquets champêtres	E. Bandes boisées et boisements rivulaires	Ea	Eb	Ec	Ed			
	F. Peuplements forestiers de feuillus mélangés, d'essences typiques, au sein d'un massif forestier ancien	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe	Ff	Fg
	G. Plantation de résineux au sein d'un massif forestier ancien	Ga	Gb	Gc				
	H. Plantations monospécifiques de feuillus au sein d'un massif forestier ancien	Ha	Hb	Hc	Hd			
Milieux semi-ouverts/buissonnants	I. Milieux semi-ouverts associant arbres et/ou arbustes typiques et végétation herbacée d'ourlet	Ia	Ib	Ic	Id			
	J. Végétation des clairières et coupes forestières	Ja	Jb	Jc	Jd			
	K. Buissons, groupe d'arbustes, fourrés	Ka	Kb	Kc	Kd			
	L. Haies mélangées/mixtes	La	Lb	Lc	Ld			
Milieux ouverts	M. Pelouses calcicole	Ma	Mb	Mc				
	N. Prairies intensives	Na	Nb	Nc				

Milieu	Catégories d'habitat	Niveau d'intérêt selon l'état de conservation						
	O. Prairies de fauche et pâturages, extensif en conditions mésophiles	Oa	Ob	Oc				
	P. Friches post-culturales et jachères	Pa	Pb	Pc	Pd			
	Q. Friche issue d'une prairie permanente riche en espèces	Qa	Qb	Qc	Qd			
	R. Friches rudérales sur substrats perturbés ou remaniés	Ra	Rb	Rc	Rd			
Milieux ouverts humides	S. Prairies hygrophiles	Sa	Sb	Sc				
	T. Roselières, mégaphorbiaies, cariçaies basses et magnocariçaies	Ta	Tb	Tc	Td			
Milieux agricoles	U. Cultures	Ua	Ub	Uc	Ud			
Milieux plantés ou anthropiques	V. Alignements, groupes d'arbres, arbres isolés à > 70% d'essences en station	Va	Vb	Vc	Vd			
	W. Vergers	Wa	Wb	Wc	Wd			
	X. Espaces verts et jardins en contexte de villages	Xa	Xb	Xc	Xd			
	Y. Chemins non revêtus permettant le développement de la végétation	Ya	Yb	Yc				
	Z. Sols imperméabilisés ou revêtus	Za	Zb					

Annexe 9 Réglementation liée à l'environnement sonore

9.1 Réglementation applicable aux installations nucléaires de base (INB)

Cette réglementation s'applique aux installations situées dans le périmètre INB en phase de fonctionnement.

En phase de fonctionnement, l'ensemble des installations du centre de stockage ZD+ZP situées à l'intérieur du périmètre INB sera soumis aux exigences réglementaires spécifiques aux installations nucléaires de base (INB), fixées dans l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (203).

L'article 4.3.5 de cet arrêté renvoie aux exigences fixées pour les sites ICPE :

« Toute installation nucléaire de base doit être conforme aux dispositions de limitation du bruit fixées à l'article 3 de l'arrêté du 23 janvier 1997 susvisé dans sa version mentionnée en annexe I, sauf disposition contraire fixée par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire prise en application du 3° du IV de l'article 18 du décret du 2 novembre 2007 susvisé, eu égard aux caractéristiques particulières de l'installation ou de son environnement et après avis du conseil départemental mentionné à l'article R. 1416-1 du code de la santé publique. ».

Les exigences sont donc identiques à celles présentées dans le chapitre suivant sur les ICPE.

Dans ce cas, seules les installations comprises dans les périmètres INB seront prises en compte.

Remarque

Pour l'analyse de l'impact en limite de périmètre, l'article 4.3.5 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base précise que l'évaluation « *s'apprécie au niveau des limites d'établissement* » (203).

L'article 1.3 définit la notion d'établissement comme : « ensemble des zones placées sous le contrôle de l'exploitant situées sur un même site ».

Les points d'analyse sont donc identiques à ceux utilisés pour l'impact total des zones ZD et ZP (points situés sur la limite ICPE).

9.2 Réglementation applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Cette réglementation s'applique :

- au centre de stockage ZD+ZP en phase de construction initiale (hors INB) ;
- au centre de stockage ZD+ZP en phase de fonctionnement (hors INB).

La réglementation applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement est l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) (224).

L'article 1 de l'arrêté du 23 janvier 1997 précise que « *Lorsque plusieurs installations classées sont situées au sein d'un même établissement, les dispositions du présent arrêté sont applicables au bruit global émis par l'ensemble des activités exercées à l'intérieur de l'établissement, y compris le bruit émis par les véhicules et engins visés au premier alinéa de l'article 4.*».

De plus, l'article 3 de l'arrêté du 23 janvier 1997 stipule que « *L'installation est construite, équipée et exploitée de façon que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits transmis par voie aérienne ou solidienne susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une nuisance pour celui-ci.* ».

Comme vu dans le chapitre précédent sur les INB, les installations du périmètre INB sont soumises aux exigences de l'arrêté du 23 janvier 1997.

Dans ce contexte, en phases de construction initiale et de fonctionnement, l'ensemble des installations des périmètres ZD et ZP situées à l'intérieur des limites de clôture sera soumis aux exigences réglementaires spécifiques aux ICPE (Installations Classées pour la Protection de L'Environnement), fixées dans l'arrêté du 23 janvier 1997.

Remarque

Concernant la LIS permettant la liaison directe entre la ZD et la ZP, il a été choisi de :

- considérer les voies routières VL et PL comme étant des routes nouvelles et de leur appliquer la réglementation adéquate ;
- intégrer le convoyeur de liaison dans la réglementation ICPE étant donné son impact mineur.

L'arrêté du 23 janvier 1997 (224) fixe des exigences en termes :

- de niveaux sonores maximum en limite de propriété ;
- d'émergence en zones à émergence réglementée (ZER) ;
- de tonalités marquées en ZER.

L'émergence acoustique est fondée sur la différence entre le niveau de bruit équivalent pondéré A du bruit ambiant (comportant le bruit particulier de l'établissement en fonctionnement) et celui du résiduel.

$E = L_{eq}$ ambiant – L_{eq} résiduel

$E = L_{eq}$ établissement en fonctionnement – L_{eq} établissement à l'arrêt

Une ZER est définie dans l'arrêté du 23 janvier 1997 comme étant l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers, existant à la date de l'arrêté d'autorisation de l'installation et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin, terrasse).

Une ZER peut également être une zone constructible définie par des documents d'urbanisme opposables aux tiers et publiés à la date de l'arrêté d'autorisation, ainsi que l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers qui ont été implantés après la date de l'arrêté d'autorisation dans les zones constructibles définies ci-avant et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin, terrasse), à l'exclusion de celles des immeubles implantés dans les zones destinées à recevoir des activités artisanales ou industrielles.

Des exigences sont fixées pour chaque période réglementaire diurne [7 h - 22 h] et nocturne [22 h – 7 h].

Ainsi, l'installation doit être construite, équipée et exploitée de façon à ce que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits transmis par voie aérienne ou solidienne susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une nuisance pour celui-ci.

9.2.1 Niveaux sonores maximum en limite de propriété

L'arrêté préfectoral d'autorisation fixe, pour chacune des périodes de la journée (diurne et nocturne), les niveaux de bruit à ne pas dépasser en limites de propriété de l'établissement, déterminés de manière à assurer le respect des valeurs d'émergences admissibles.

Les valeurs fixées par l'arrêté d'autorisation ne peuvent excéder 70 dBA pour la période de jour et 60 dBA pour la période de nuit en limite de propriété, sauf si le bruit résiduel pour la période considérée est supérieur à cette limite.

Les valeurs limites de niveaux sonores maximales fixées par la réglementation en limite de propriété sont données dans le tableau ci-après.

Tableau Annexe 9-1 Valeurs limites de niveaux sonores maximales fixées par la réglementation en limite de propriété

Emplacement des mesures	Niveau sonore maximum pour la période diurne allant de 7 heures à 22 heures sauf dimanches et jours fériés)	Niveau sonore maximum pour la période nocturne allant de 22 heures à 7 heures ainsi que les dimanches et jours fériés
Limite de propriété de l'établissement	70 dBA	60 dBA

9.2.2 Émergences admissibles en ZER

En ZER, les valeurs limites d'émergence sont les suivantes :

Tableau Annexe 9-2 Valeurs limites d'émergence en ZER

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée, incluant le bruit de l'établissement	Émergence admissible pour la période diurne allant de 07 h 00 à 22 h 00 sauf dimanches et jours fériés	Émergence admissible pour la période nocturne allant de 22 h 00 à 07 h 00 ainsi que les dimanches et jours fériés
Supérieur à 35 dBA et inférieur ou égal à 45 dBA	6 dBA	4 dBA
Supérieur à 45 dBA	5 dBA	3 dBA

Conformément à l'annexe de l'arrêté du 23 janvier 1997 (224), dans le cas où la différence L_{Aeq} - L_{50} du bruit résiduel est supérieure à 5 dBA, on utilise comme indicateur d'émergence la différence entre les indices fractiles L_{50} calculés sur le bruit ambiant et le bruit résiduel, dans le cas contraire le L_{Aeq}.

9.2.3 Tonalité marquée

Dans le cas où le bruit particulier de l'établissement est à tonalité marquée au sens du point 1.9 de l'annexe de l'arrêté du 23 janvier 1997, relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement, de manière établie ou cyclique, sa durée d'apparition ne peut excéder 30 % de la durée de fonctionnement de l'établissement dans chacune des périodes diurne ou nocturne.

À noter que cet aspect réglementaire est difficilement estimable en conception des projets. Il ne peut être vérifié qu'après mise en fonctionnement de l'établissement.

La tonalité marquée est détectée dans un spectre non pondéré de tiers d'octave quand la différence de niveau entre la bande de tiers d'octave et les quatre bandes de tiers d'octave les plus proches (les deux bandes immédiatement inférieures et les deux bandes immédiatement supérieures) atteint ou dépasse les niveaux indiqués dans le tableau ci-après pour la bande considérée :

Bandes de fréquences	50 Hz à 315 Hz	400 Hz à 8 000 Hz
Seuil à ne pas dépasser	10 dB	5 dB

L'analyse doit être réalisée sur une durée minimale de 10 secondes.

Les bandes sont définies par fréquence centrale de tiers d'octave.

9.3 Réglementation applicable au bruit des infrastructures ferroviaires

Cette réglementation s'applique :

- à ITE, en exploitation ;
- à la portion de ligne SNCF 027000 située entre Tronville-en-Barrois et Gondrecourt-le-Château et qui sera réhabilitée, en exploitation.

Le cadre réglementaire applicable est le suivant :

- articles L. 571-9 et R. 571-44 à R. 571-52 du code de l'Environnement ;
- arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires (280).

9.3.1 Infrastructures concernées par cette réglementation

On retrouve deux types d'infrastructures ferroviaires concernées par cette réglementation :

- les nouvelles infrastructures (ITE) ;
- les infrastructures existantes modifiées de manière significative (voie 027000).

Pour ces infrastructures, le maître d'ouvrage est soumis à une obligation de résultat : il se doit de prendre les dispositions nécessaires pour que les nuisances sonores affectant le voisinage de ces infrastructures soient limitées à des niveaux compatibles avec le mode d'occupation ou d'utilisation normal des bâtiments riverains ou des espaces traversés.

La modification ou la transformation d'une infrastructure existante est considérée comme significative lorsqu'elle résulte d'une intervention ou de travaux successifs qui à terme, entrainerait une augmentation de plus de 2 dBA de la contribution sonore de cette voie au niveau des bâtiments riverains.

Ne constituent pas une modification ou une transformation significative :

- les travaux d'entretien, de réparation, d'électrification ou de renouvellement des infrastructures ferroviaires ;
- les travaux de renforcement des chaussées, d'entretien ou de réparation des voies routières ;
- les aménagements ponctuels des voies routières ou des carrefours non dénivelés.

9.3.2 Bâtiments visés

Seuls les bâtiments voisins de l'infrastructure et antérieurs à celle-ci, sont concernés par l'obligation de mise en place de protection acoustique par le maître d'ouvrage de l'infrastructure.

Les bâtiments voisins dont la construction a été autorisée après l'intervention de l'une des mesures suivantes ne sont pas concernés (art. R.571-52) :

- publication de l'acte décidant l'ouverture d'une enquête publique portant sur le projet d'infrastructure ;
- mise à disposition du public de la décision, ou de la délibération, arrêtant le principe et les conditions de réalisation d'un projet d'infrastructure ;
- inscription du projet d'infrastructure en emplacement réservé dans un plan local d'urbanisme, un plan d'occupation des sols, un plan d'aménagement de zone ou un plan de sauvegarde et de mise en valeur, opposable ;
- mise en service de l'infrastructure ;
- publication des arrêtés préfectoraux portant classement de l'infrastructure et définition des secteurs affectés par le bruit situé à son voisinage.

De plus, seuls les établissements de santé, les établissements d'enseignement, les logements ainsi que les locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée sont concernés par ce type d'étude (art. 2 de l'arrêté du 8 novembre 1999).

Remarque concernant les bâtiments postérieurs à la création de l'infrastructure :

Concernant les bâtiments à construire, leurs permis de construire seront postérieurs aux démarches effectuées pour la création des routes.

De ce fait, c'est la maîtrise d'ouvrage en charge des futurs bâtiments d'habitations ou hôtels qui devra se conformer aux exigences réglementaires de l'arrêté du 30 mai 1996 (version consolidée au 23 août 2017) relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit (281). Ce critère concerne également les établissements d'enseignement et de santé.

9.3.3 Valeurs limites réglementaires à respecter au droit des bâtiments visés

Des exigences sont fixées pour chaque période réglementaire diurne [6 h – 22 h] et nocturne [22 h – 6 h].

Les indicateurs utilisés sont les niveaux sonores équivalents L_{Aeq}.

Seule est prise en compte la contribution de l'infrastructure elle-même, abstraction faite des autres sources en présence sur le site.

Valeurs limites applicables aux nouvelles infrastructures ferroviaires

Les niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure nouvelle sont fixés aux valeurs suivantes :

Tableau Annexe 9-3 Niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure ferroviaire nouvelle

Usage et nature des locaux	$L_{A,eq}$ (6 h – 22 h)	$L_{A,eq}$ (22 h – 6 h)
Établissements de santé, de soins et d'action sociale : • salles de soins et salles réservées au séjour des malades ; • autres locaux.	60 dBA 63 dBA	58 dBA 58 dBA
Établissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	63 dBA	Aucune obligation
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	63 dBA	58 dBA
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée de nuit	68 dBA	58 dBA
Autres logements	68 dBA	63 dBA
Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	68 dBA	Aucune obligation

Remarque

Les niveaux repris dans la réglementation sont donnés pour l'indicateur If. Cet indicateur est relié à l'indicateur L_{Aeq} par la formule $I_f = L_{Aeq} - 3$ dBA. Les résultats transcrits dans le tableau ci-dessus sont volontairement présentés en niveaux L_{Aeq} pour pouvoir être comparé aux autres réglementations.

Notion de zone d'ambiance sonore modérée

Une zone est considérée d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant existant à deux mètres en avant des façades des bâtiments avant la réalisation de l'aménagement projeté est tel que :

LAeq (6 h – 22 h) <65 dBA

Et : LAeq (22 h - 6 h) <60dBA

Une zone peut être qualifiée de modérée, modérée de nuit (si seul le critère nuit est vérifié) ou non modérée.

Valeurs limites applicables aux infrastructures ferroviaires modifiées significativement

Les niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure modifiée significativement sont fixés aux valeurs suivantes :

- si la contribution sonore de la voie avant travaux est inférieure à la valeur limite applicable à une voie nouvelle, l'objectif après travaux est fixé à cette valeur ;
- dans le cas contraire, l'objectif est de ne pas augmenter la contribution sonore initiale de la voie, sans pouvoir dépasser 68 dBA de jour et 63 dBA de nuit.

9.3.4 Mesures de protection à mettre en place

Il appartient au maître d'ouvrage d'une infrastructure de prendre toutes dispositions, lors de la conception ou de la réalisation, de nature à protéger les bâtiments qui existaient avant la voie (ou avant sa modification significative), pour éviter que ses occupants ne subissent des nuisances sonores excessives.

Un traitement direct de l'infrastructure (ex : écran acoustique) est recherché en priorité. Si ces actions à la source ne sont pas possibles (conditions d'insertion impossibles ou coûts trop élevés), un traitement par isolation acoustique des bâtiments concernés sera réalisé. Ce traitement devra tenir compte de l'usage effectif des pièces exposées au bruit.

Traitement des bâtiments par isolation acoustique

Dans les cas nécessitant un traitement du bâti, l'isolement acoustique contre les bruits extérieurs $D_{nT,A,tr}$, exprimé en dB, sera tel que :

$$D_{nT,A,tr} \geq I_f - Obj + 25$$

Avec :

- I_f : indicateur de gêne due au bruit d'une infrastructure ferroviaire ;
- Obj : contribution sonore maximale admissible.

Cet isolement est déterminé pour une durée de réverbération égale à 0,5 seconde. Ce calcul sera effectué s'il y a lieu pour les deux périodes, et la valeur d'isolement la plus élevée sera retenue.

Quand l'application de cette règle conduit à procéder effectivement à des travaux d'isolation de façade, l'isolement résultant ne devra pas être inférieur à 30 dBA.

Pour les locaux d'habitation, la valeur de cet isolement devra être respectée dans les pièces principales et les cuisines.

Lorsqu'un traitement du bâti est nécessaire, il convient de prendre en compte les exigences de pureté de l'air et de confort thermique en saison chaude à l'intérieur des bâtiments.

9.4 Réglementation applicable aux opérations RTE

Cette réglementation s'applique à l'opération RTE, en exploitation.

Le cadre réglementaire applicable est l'arrêté du 26 janvier 2007 modifiant l'arrêté du 17 mai 2001 modifié fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique (282).

Les équipements des postes de transformation et les lignes électriques doivent être conçus et exploités de sorte que le bruit qu'ils engendrent, mesuré à l'intérieur des locaux d'habitation, respecte l'une des deux conditions suivantes :

- le bruit ambiant mesuré (comportant le bruit des installations électriques) est inférieur à 30 dBA ;

ou

- l'émergence globale du bruit provenant des installations électriques est inférieure à 5 dBA en période diurne et inférieure à 3 dBA en période nocturne.

Le tableau ci-après récapitule les valeurs limites à respecter :

Tableau Annexe 9-4 Valeurs limites à respecter pour l'opération RTE

Niveau de bruit ambiant à l'intérieur des locaux d'habitation	Emergence admissible pour la période diurne allant de 7 h à 22 h 00	Emergence admissible pour la période nocturne allant de 22 h à 7 h 00
Inférieur à 30 dBA	Aucun objectif	
Supérieur à 30 dBA	5 dBA	3 dBA

À ces valeurs s'ajoutent un terme correctif, fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier selon le tableau ci-après :

Tableau Annexe 9-5 Termes correctifs applicables en fonction de la durée cumulée d'apparition du brui

Durée cumulée d'apparition du bruit particulier T	Terme correctif en dBA
30 s <T ≤1 min	9
1 min <T ≤2 min	8
2 min <T ≤5 min	7
5 min <T ≤10 min	6
10 min <T ≤20 min	5
20 min <T ≤45 min	4
45 min <T ≤2 h	3
2 h <T ≤4 h	2
4 h <T ≤8 h	1
T >8 h	0

Remarque

Dans le cadre de cette étude, les installations électriques fonctionnant en permanence, aucun terme correctif ne sera pris en compte.

9.5 Réglementation applicable au bruit des nouvelles infrastructures routières

Cette réglementation s'applique aux nouvelles infrastructures créées par le projet :

- à l'opération de déviation de la route départementale D60/960, en exploitation ;
- à l'opération de liaison intersites (LIS) pour sa partie « routière » (route VL + route PL), en exploitation.

Le cadre réglementaire applicable est le suivant :

- articles L. 571-9 et R 571-44 à R. 571-52 du code de l'environnement ;
- arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières (283);
- circulaire n° 97-110 du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national (223).

9.5.1 Infrastructures concernées par cette réglementation

On retrouve deux types de routes concernées par cette réglementation : les routes nouvelles et les routes existantes modifiées de manière significative.

Pour ces infrastructures, le maître d'ouvrage est soumis à une obligation de résultat : il se doit prendre les dispositions nécessaires pour que les nuisances sonores affectant les populations voisines de ces infrastructures soient limitées à des niveaux compatibles avec le mode d'occupation ou d'utilisation normal des bâtiments riverains ou des espaces traversés (art. R. 571-44).

La modification ou la transformation d'une infrastructure existante est considérée comme significative lorsqu'elle résulte d'une intervention ou de travaux successifs qui à terme, entrainerait une augmentation de plus de 2 dBA de la contribution sonore de cette voie au niveau des bâtiments riverains (art. R.571-45).

Ne constituent pas une modification ou une transformation significative (art. R.571-46) :

- les travaux d'entretien, de réparation, d'électrification ou de renouvellement des infrastructures ferroviaires ;
- les travaux de renforcement des chaussées, d'entretien ou de réparation des voies routières ;
- les aménagements ponctuels des voies routières ou des carrefours non dénivelés.

9.5.2 Bâtiments visés

Seuls les bâtiments voisins de l'infrastructure et antérieurs à celle-ci, sont concernés par l'obligation de mise en place de protection acoustique par le maître d'ouvrage de l'infrastructure.

Les bâtiments voisins dont la construction a été autorisée après l'intervention de l'une des mesures suivantes ne sont pas concernés (art. R.571-52) :

- publication de l'acte décidant l'ouverture d'une enquête publique portant sur le projet d'infrastructure ;
- mise à disposition du public de la décision, ou de la délibération, arrêtant le principe et les conditions de réalisation d'un projet d'infrastructure ;
- inscription du projet d'infrastructure en emplacement réservé dans un plan local d'urbanisme, un plan d'occupation des sols, un plan d'aménagement de zone ou un plan de sauvegarde et de mise en valeur, opposable ;
- mise en service de l'infrastructure ;
- publication des arrêtés préfectoraux portant classement de l'infrastructure et définition des secteurs affectés par le bruit situés à son voisinage.

De plus, seuls les établissements de santé, les établissements d'enseignement, les logements ainsi que les locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée sont concernés par ce type d'étude (art. 2 de l'arrêté du 5 mai 1995 (283)).

Remarque concernant les bâtiments postérieurs à la création de l'infrastructure

Concernant les bâtiments à construire, leurs permis de construire seront postérieurs aux démarches effectuées pour la création des routes.

De ce fait, c'est la maîtrise d'ouvrage en charge des futurs bâtiments d'habitations qui devra se conformer aux exigences réglementaires de l'arrêté du 30 mai 1996 (version consolidée au 23 août 2017) relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit (281). Ce critère concerne également les établissements d'enseignement et de santé.

9.5.3 Valeurs limites réglementaires à respecter au droit des bâtiments visés

Des exigences sont fixées pour chaque période réglementaire diurne [6 h - 22 h] et nocturne [22 h - 6 h].

Les indicateurs utilisés sont les niveaux sonores équivalents L_{Aeq} (art. 1 de l'arrêté du 5 mai 1995 (283)).

Seule est prise en compte la contribution de l'infrastructure elle-même, abstraction faite des autres sources en présence sur le site.

Valeurs limites applicables aux routes nouvelles

Les niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure nouvelle sont fixés aux valeurs suivantes (art. 2 de l'arrêté du 5 mai 1995) :

Tableau Annexe 9-6 Niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure routière nouvelle

Usage et nature des locaux	$L_{A,eq}$ (6 h – 22 h)	$L_{A,eq}$ (22 h – 6 h)
Établissements de santé, de soins et d'action sociale : • salles de soins et salles réservées au **séjour des malades ;** • autres locaux.	 57 dBA 60 dBA	 55 dBA 55 dBA
Établissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	60 dBA	Aucune obligation
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	60 dBA	55 dBA
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée de nuit	65 dBA	55 dBA
Autres logements	65 dBA	60 dBA
Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	65 dBA	Aucune obligation

Ces valeurs tiennent compte de la réflexion du bruit sur la façade. Elles sont donc supérieures de 3 dBA à celles qui seraient mesurées en champ libre ou en façade, dans le plan d'une fenêtre ouverte, dans les mêmes conditions de trafic, à un emplacement comparable.

Notion de zone d'ambiance sonore modérée

Une zone est considérée d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant existant à deux mètres en avant des façades des bâtiments avant la réalisation de l'aménagement projeté est tel que :

L_{Aeq} (6 h - 22 h) <65 dBA

Et : L_{Aeq} (22 h - 6 h) <60 dBA

Une zone peut être qualifiée de modérée, modérée de nuit (si seul le critère nuit est vérifié) ou non modérée.

Valeurs limites applicables aux routes modifiées significativement

Les niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure modifiée significativement sont fixés aux valeurs suivantes (art. 3 de l'arrêté du 5 mai 1995) :

- si la contribution sonore de la route avant travaux est inférieure à la valeur limite applicable à une route nouvelle, l'objectif après travaux est fixé à cette valeur ;
- dans le cas contraire, l'objectif est de ne pas augmenter la contribution sonore initiale de la route, sans pouvoir dépasser 65 dBA de jour et 60 dBA de nuit.

9.5.4 Mesures de protection à mettre en place

Il appartient au maître d'ouvrage d'une infrastructure de prendre toutes dispositions, lors de la conception ou de la réalisation, de nature à protéger les bâtiments qui existaient avant la voie (ou avant sa modification significative), pour éviter que ses occupants ne subissent des nuisances sonores excessives.

Un traitement direct de l'infrastructure (revêtement acoustique, écran acoustique) est recherché en priorité. Si ces actions à la source ne sont pas possibles (conditions d'insertion impossibles ou coûts trop élevés), un traitement par isolation acoustique des bâtiments concernés sera réalisé. Ce traitement devra tenir compte de l'usage effectif des pièces exposées au bruit (art. R571-48).

Traitement des bâtiments par isolation acoustique (art. 4 de l'arrêté du 5 mai 1995 (283))

Dans les cas nécessitant un traitement du bâti, l'isolement acoustique contre les bruits extérieurs $D_{nT,A,tr}$, exprimé en dB ; sera tel que :

$D_{nT,A,tr} \geq L_{Aeq}$ - Obj + 25

Avec :

- $L_{A,eq}$: contribution sonore de l'infrastructure ;
- Obj : contribution sonore maximale admissible.

Cet isolement est déterminé pour une durée de réverbération égale à 0,5 seconde. Ce calcul sera effectué s'il y a lieu pour les deux périodes, et la valeur d'isolement la plus élevée sera retenue.

Quand l'application de cette règle conduit à procéder effectivement à des travaux d'isolation de façade, l'isolement résultant ne devra pas être inférieur à 30 dBA.

Pour les locaux d'habitation, la valeur de cet isolement devra être respectée dans les pièces principales et les cuisines.

Lorsqu'un traitement du bâti est nécessaire, il convient de prendre en compte les exigences de pureté de l'air et de confort thermique en saison chaude à l'intérieur des bâtiments.

9.6 Réglementation applicable au bruit des infrastructures routières existantes

Cette réglementation s'applique aux routes existantes à l'état initial et qui ne subiront pas de modifications hormis une éventuelle évolution du trafic.

Le cadre réglementaire applicable est le suivant :

- arrêté du 3 mai 2002 pris pour l'application du décret n° 2002-867 du 3 mai 2002, relatif aux subventions accordées par l'État concernant les opérations d'isolation acoustique des points noirs du bruit des réseaux routiers et ferroviaires nationaux (284) ;
- circulaire du 12 juin 2001, relative à l'observatoire du bruit des transports terrestres ; résorption des points noirs du bruit des transports terrestres (285) ;
- circulaire du 25 mai 2004, relative au bruit des infrastructures des transports terrestres (286).

9.6.1 Définition d'un point noir du bruit (PNB)

Un point noir du bruit (PNB) des réseaux routiers et ferroviaires nationaux est un bâtiment sensible (bâtiment d'habitation ou établissement d'enseignement, de soins, de santé ou d'actions sociale), localisé dans une zone de bruit critique (ZBC) engendrée par au moins une infrastructure de transport terrestre des réseaux routiers ou ferroviaires nationaux, et qui répond aux critères acoustiques et d'antériorité définis ci-après.

Critères acoustiques

Plusieurs seuils sont définis selon les périodes horaires et le type d'infrastructure de transport concerné.

Les indicateurs utilisés sont les niveaux sonores équivalents L_{Aeq} jour et nuit ainsi que les indicateurs européens L_{den} et L_n.

Seule est prise en compte la contribution de l'infrastructure elle-même, abstraction faite des autres sources en présence sur le site.

En se référant aux circulaires du 12 juin 2001 (285) et du 25 mai 2004 (286) relatives aux observatoires du bruit des transports terrestres et à la résorption des Points Noirs du Bruit (PNB) des transports terrestres, les valeurs réglementaires à respecter sont :

Tableau Annexe 9-7 Valeurs réglementaires à respecter relatives aux observatoires du bruit des transports terrestres et à la résorption des PNB

Valeurs limites relatives aux contributions sonores en façade en dBA			
Indicateurs de bruit	**Route et/ou LGV**	**Voie ferrée conventionnelle**	**Cumul (Route et/ou LGV + voie ferrée conventionnelle)**
LAeq (6 h – 22 h)	70	73	73
LAeq (22 h – 6 h)	65	68	68
Lden	68	73	73
Ln	62	65	65

Si l'une de ces valeurs est dépassée, le bâtiment peut être qualifié de PNB.

Si les valeurs limites diurnes et nocturnes sont dépassées le bâtiment est dit Super PNB.

Remarques

Les dépassements des valeurs limites sont à rechercher pour l'ensemble des étages des bâtiments concernés.

Les valeurs seuils L_{Aeq} tiennent compte de la réflexion du bruit sur la façade. Elles sont ainsi supérieures de 3 dBA à celles qui seraient mesurées en champ libre ou en façade dans le plan d'une fenêtre ouverte, dans les mêmes conditions de trafic, à un emplacement comparable.

En revanche, les valeurs seuils L_{den} et Ln ne tiennent pas compte de cette réflexion et sont sujets à une correction de – 3 dB(A).

Critères d'antériorité

Les critères d'antériorité à considérer sont précisés par l'annexe 1 de la circulaire du 12 juin 2001 (285) ainsi qu'à l'article 3 de l'arrêté du 3 mai 2002 (284).

Les locaux qui répondent aux critères d'antériorité sont les suivants :

- les locaux à usage d'habitation dont la date d'autorisation de construire est antérieure au 6 octobre 1978 ;
- les locaux à usage d'habitation dont la date d'autorisation de construire est postérieure au 6 octobre 1978 tout en étant antérieure à l'intervention de toutes les mesures suivantes :
  - ✓ publication de l'acte décidant l'ouverture d'une enquête publique portant sur le projet d'infrastructure, en application de l'article L. 11-1 du Code de l'Expropriation pour cause d'utilité publique ou du décret n° 85-453 du 23 avril 1985 (287) ;
  - ✓ mise à disposition du public de la décision, ou de la délibération, arrêtant le principe et les conditions de réalisation d'un projet d'infrastructure, au sens du a du 2° de l'article R. 121-13 du Code de l'Urbanisme, dès lors que cette décision, ou cette délibération, prévoit les emplacements qui doivent être réservés dans les documents d'urbanisme opposables ;
  - ✓ inscription du projet d'infrastructure en emplacement réservé dans un plan d'occupation des sols, un plan d'aménagement de zone, ou plan de sauvegarde et de mise en valeur, opposable,
  - ✓ mise en service de l'infrastructure ;
  - ✓ publication du premier arrêté préfectoral pris en application de l'article 13 de la loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit portant classement de l'infrastructure et définition des secteurs affectés par le bruit dans lesquels sont situés les locaux visés (288) ;
- les établissements d'enseignement (écoles, collèges, lycées, universités...), de soins et de santé (hôpitaux, cliniques, dispensaires, établissements médicalisés...) et d'action sociale (crèches, halte-garderie, foyers d'accueil, foyers de réinsertion sociale...) dont la date d'autorisation de construire est antérieure à la date d'entrée en vigueur de l'arrêté les concernant pris en application du deuxième alinéa de l'article R. 111-23-2 du Code de la construction et de l'habitation.

9.6.2 Objectifs acoustiques de résorption d'un PNB

Il appartient au maître d'ouvrage d'une route de prendre toutes dispositions, lors de la conception ou de la réalisation, de nature à protéger les bâtiments qui existaient avant la voie (ou avant sa modification significative), pour éviter que ses occupants ne subissent des nuisances sonores excessives.

Deux types de solutions principales sont recherchés :

- la solution de réduction du bruit à la source. Cette solution permet de réduire le bruit directement au niveau de l'infrastructure concernée et de protéger un grand nombre de PNB. Elle se traduit par la mise en place d'écrans acoustiques, de merlons, etc. ;
- lorsque la protection à la source n'est pas appropriée, la solution de l'isolation acoustique des façades des bâtiments identifiés comme PNB est envisagée. Cette solution peut s'avérer plus coûteuse et ne permet pas de protéger les parties extérieures des bâtiments comme les jardins ou les balcons par exemple.

9.6.3 Objectifs en cas de mise en place d'une solution de renforcement de l'isolation acoustique des façades

Lorsque la mise en place d'une solution de renforcement de l'isolation acoustique des façades est recherchée, les niveaux d'isolement acoustique à atteindre sont définis dans le tableau ci-après :

Tableau Annexe 9-8 Niveaux d'isolement acoustique à atteindre lors du renforcement de l'isolation acoustique des façades

Objectifs isolement acoustique $D_{nT,A,tr}$ en dBA			
Indicateurs de bruit	**Route et/ou LGV**	**Voie ferrée conventionnelle**	**Cumul (Route et/ou LGV + voie ferrée conventionnelle)**
DnT,A,Tr ≥	LAeq (6 h – 22 h) - 40	If (6 h – 22 h) - 40	Ensemble des conditions prises séparément pour la route et la voie ferrée
	LAeq (6 h – 18 h) - 40	/	
	LAeq (18 h – 22 h) - 40	/	
	LAeq (22 h – 6 h) - 35	If (22 h – 6 h) - 35	

Dans tous les cas l'isolement $D_{nT,A,tr}$ sera supérieur à 30 dB.

$D_{nT,A,Tr}$ est l'isolement acoustique standardisé pondéré défini selon la norme NF EN ISO 717-1 intitulée « Acoustique - Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 1 : isolement des bruits aériens » (289).

If : Isolation acoustique des Façades.

L'arrêté du 8 novembre 1999 (280) relatif à la limitation du bruit ferroviaire définit l'indicateur de gêne ferroviaire If comme étant : If = LA,eq – 3 dBA.

9.7 Réglementation chantier de construction des infrastructures de transport

Cette réglementation s'applique :

- à l'opération ITE, en construction ;
- aux travaux de réhabilitation de la portion de ligne SNCF 027000 située entre Tronville-en-Barrois et Gondrecourt-le-Château ;
- à l'opération de déviation de la route départementale D60/960, en construction ;
- à l'opération de liaison intersites LIS pour sa partie « routière » (route VL + route PL), en construction.

Dans ce cas, les chantiers de construction de ces opérations seront soumis aux exigences de l'article R. 571-50 du code de l'Environnement.

Cet article stipule que « *préalablement au démarrage d'un chantier, le maitre d'ouvrage doit fournir au préfet de chacun des départements concernés et aux mairies des communes sur le territoire desquelles sont prévus les travaux et les installations de chantier, les éléments d'information utiles sur la nature du chantier, sa durée prévisible, les nuisances sonores attendues ainsi que les mesures prises pour limiter ces nuisances. Ces éléments doivent parvenir aux autorités concernées un mois au moins avant le démarrage du chantier ». Ce dossier est généralement appelé « dossier bruit de chantier* ».

« *Au vu de ces éléments, le préfet peut, lorsqu'il estime que les nuisances sonores attendues sont de nature à causer un trouble excessif aux personnes, prescrire, par un arrêté motivé, pris après avis des maires des communes concernées et du maitre d'ouvrage, des mesures particulières de fonctionnement du chantier, notamment en ce qui concerne ses accès et ses horaires* ».

Cette réglementation ne précise pas de valeur limite à respecter.

9.8 Réglementation chantier de construction hors infrastructures de transport

Cette réglementation s'applique :

- au centre de stockage ZD+ZP en phase d'aménagements préalables ;
- à l'opération RTE, en construction ;
- à l'opération de liaison intersites pour la partie « convoyeur », en construction ;
- à l'opération Adduction d'eau, en construction.

Lors de la construction de ces opérations, certaines machines/équipements spécifiques peuvent être soumis à la réglementation ICPE.

Si tel est le cas, la réglementation applicable est alors l'arrêté du 23 janvier 1997 décrit au chapitre 9.2 du présent volume (224) sur le périmètre limité des installations concernés.

Si aucune machine/équipement utilisée sur le chantier n'est soumise à la réglementation ICPE, le chantier est alors soumis à l'article R. 1334-36 du Code de santé publique.

Cet article précise que : « l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée par l'une des circonstances suivantes :

- le non-respect des conditions fixées par les autorités compétentes en ce qui concerne soit la réalisation des travaux (*par exemple, le non*-respect *des horaires définis dans le permis de construire ou la déclaration de travaux*), soit l'utilisation ou l'exploitation de matériels ou d'équipements ;
- l'insuffisance de précautions appropriées pour limiter ce bruit ;
- un comportement anormalement bruyant ».

Cette réglementation ne précise pas de valeur limite à respecter. De plus, le constat d'infraction peut être réalisé sans mesurage acoustique.

À noter que des arrêtés préfectoraux existent et sont applicables dans les départements de la Meuse et de la Haute-Marne :

- arrêté préfectoral n° 2000-1269 en date du 6 juillet 2000 pour la préfecture de la Meuse (290) ;
- arrêté préfectoral n° 3143 en date du 11 décembre 2008 pour la préfecture de la Haute-Marne (291).

Ces arrêtés précisent certaines dispositions à respecter :

Préfecture de la Meuse

« *Article 12 - Tous moteurs de quelque nature qu'ils soient, ainsi que tous appareils, machines, dispositifs de transmission, de ventilation, de réfrigération ou de production d'énergie, doivent être installés et aménagés de telle sorte que leur fonctionnement ne puisse en aucun cas troubler le repos ou la tranquillité du voisinage, ceci de jour comme de nuit et en respectant les dispositions de l'article 11 de ce même arrêté. Cette obligation vise également les équipements mobiles tels que les groupes réfrigérants de camions, quel que soit leur lieu d'arrêt ou de stationnement* ».

« *Article 13 - Toute personne utilisant dans le cadre de ses activités professionnelles, à l'intérieur des locaux ou en plein air, sur ou sous la voie publique ou dans des propriétés privées, des outils ou appareils de quelque nature qu'ils soient susceptibles de causer une gêne en raison de leur intensité sonore ou des vibrations transmises, doit*

interrompre ces travaux entre 20 heures et 7 heures et toute la journée des dimanches et jours fériés sauf en cas d'intervention urgente nécessaire pour le maintien du service public et celui de la sécurité des personnes et des biens.

Les dispositions prévues à l'alinéa précédent ne dispensent pas les personnes concernées de prendre toute mesure propre à réduire les nuisances sonores qu'elles provoquent durant la période comprise entre 7 heures et 20 heures.

Des dérogations exceptionnelles d'une durée limitée pourront être accordées par les maires s'il s'avère nécessaire que les travaux considérés doivent être effectués en dehors des heures et jours autorisés à l'alinéa 1 du présent article.

Les riverains devront être avisés par affichage par l'entrepreneur des travaux au moins 48 heures avant le début du chantier. L'arrêté portant dérogation devra être affiché de façon visible sur les lieux du chantier durant toute la durée des travaux.

Sans préjudice des dispositions de l'article R. 48-5 du Code de la Santé Publique, les dispositions du présent article s'appliquent également aux travaux bruyants réalisés sur les chantiers de travaux publics ou privés.

Des dispositions particulières pourront être prescrites par les maires notamment dans les zones particulièrement sensibles du fait de la proximité d'hôpitaux, cliniques, établissements d'enseignement et de recherche, crèches, de maisons de convalescence, résidences pour personnes âgées ou tout autre établissement similaire ».

Préfecture de la Haute-Marne

« *Article 7 – Toute personne utilisant dans le cadre de ses activités professionnelles, à l'intérieur des locaux ou en plein air, sur la voie publique ou dans des propriétés privées, des outils ou appareils, de quelque nature qu'ils soient, susceptibles de causer une gêne pour le voisinage en raison de leur intensité sonore ou des vibrations transmises, doit prendre toute mesure propre à garantir la tranquillité du voisinage en tout état de cause, interrompre ses travaux entre 20 heures et 7 heures et toute la journée les dimanches et jours fériés, sauf en cas d'intervention urgente nécessaire pour le maintien de la sécurité des personnes et des biens.*

Lors de la création ou de l'extension significative d'un établissement d'activités industrielles, artisanales, commerciales ou agricoles, l'autorité administrative (Maire, Préfet) pourra réclamer la réalisation d'une étude particulière permettant d'évaluer le niveau des nuisances susceptibles d'être apportées au voisinage et les mesures propres à y remédier, afin de satisfaire aux dispositions des articles R. 1334-33 et suivantes du Code de Santé Publique.

Au sein de ces établissements, les dispositifs fixes ou mobiles de ventilation, de réfrigération, de climatisation, de chauffage ainsi que les groupes électrogènes devront être installés et entretenus de manière à respecter la tranquillité du voisinage.

Il en est de même des opérations de manipulation, de chargement ou de déchargement de matériaux, matériels, denrées ou objets quelconques, ainsi que des engins ou dispositifs utilisés pour ces opérations.

Des dérogations exceptionnelles pourront être accordées par le préfet, après avis du maire de la commune concernée s'il s'avère nécessaire que les travaux considérés doivent être effectués en dehors des heures et jours autorisés à l'alinéa précédent ».

Annexe 10 Tableau détaillé des points de vue de l'étude paysagère

Tableau Annexe 10-1 Choix des points de vue et justification de ceux utilisés pour illustrer les impacts du projet sur le paysage sur la base de photomontages

Point de vue étudié	Site observé	Description	Commentaire	Justification de la sélection
1	ZP	Vue vers la ZP depuis L'église de Ribeaucourt	La vue illustre la perception de la zone puits, mais à une distance trop lointaine pour distinguer le projet. De plus, le cordon boisé maintenu sur les franges sud et est des bois de la Caisse/bois Lejuc dissimule entièrement les ouvrages de la zone puits.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du projet du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
34	ZP	Vue vers la ZP depuis le village de Ribeaucourt - Proche de la route départementale D191	La vue ne permet qu'une perception de l'arrière du bois Lejuc et du vallonnement aux alentours du village de Ribeaucourt. De plus, le cordon boisé maintenu sur les franges sud et est des bois de la Caisse/bois Lejuc dissimule entièrement les ouvrages de la ZP.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
35	ZP	Vue vers la ZP depuis la jonction de la route départementale D191 et le Haut Chemin menant au bois Lejuc	La vue ne permet qu'une perception trop lointaine de la frange du bois Lejuc. La topographie ne permet pas une perception distincte de la ZP.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
43	ZP	Vue vers la ZP depuis L'église de Ribeaucourt	La présence de boisements/bosquets sur les coteaux de Ribeaucourt ne permet pas une perception de la ZP.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
2	ZP	Vue vers la ZP depuis la route départementale D127 proche du lieudit Domrémy-Saint-Antoine	La route départementale D127 est en creux, longeant le cours d'eau de l'Orge. Aucune perception de la ZP n'est possible du fait de la topographie.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
23	ZP	Vue sur la ZP depuis la lisière de la forêt de Granmont sur les hauteurs des coteaux de la vallée du cours d'eau L'Orge	Le bois Lejuc est perceptible sur cette vue, cependant, la vue est trop lointaine pour distinguer le projet.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
16	ZP	Vue sur la ZP depuis les abords du village de Bonnet implanté à l'est de l'opération ZP	Perception très lointaine du bois de la Caisse bordant les flancs de la vallée de l'Ormançon, ainsi que du champ d'éoliennes devant ce dernier. Le bois Lejuc est implanté derrière cette frange boisée perceptible sur la vue. Cette vue ne présente donc pas de visibilité directe vers la ZP.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
17	ZP	Vue sur la ZP depuis la route départementale D960 à mi-chemin entre le village de Bonnet et le village de Mandres-en-Barrois (est de la ZP)	Perception très lointaine du bois de la Caisse bordant les flancs de la vallée de l'Ormançon et perception trop lointaine du bois Lejuc, à peine perceptible sur cette vue.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
36	ZP	Vue sur la ZP depuis un pré proche de l'angle du bois Lejuc	Perception proche du bois Lejuc mais la topographie et la végétation existante ne permettent pas une visualisation claire de la ZP. De plus, la localisation de cette vue, en plein pré, n'est pas représentative d'une perception d'un espace public (pas de route ni de village à proximité immédiate de ce point de vue).	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
3	ZP	Vue sur la ZP depuis un chemin agricole au sud-ouest de la ZP (vue proche)	Bonne perception du bois Lejuc à une distance suffisamment proche. Pour distinguer le projet. Cette dernière pourrait illustrer la perception proche de la zone ZP. Cependant, son implantation au milieu des champs n'est pas suffisamment représentative d'une perception de la ZP, même après réalisation de la liaison intersites.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
4	ZP	Vue sur la ZP depuis le village de Bure	Perception trop lointaine de la zone ZP ne permettant pas une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. De plus, la présence d'une haie arbustive et d'un poteau au premier plan dissimule partiellement la zone concernée.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
6	ZP	Vue vers la ZP depuis le sud-ouest (éloigné) derrière le village de Bure	Perception trop lointaine de la ZP ne permettant pas une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. Cette vue met en évidence la position en creux du village de Bure entre le point de vue et la zone ZP.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).

Point de vue étudié	Site observé	Description	Commentaire	Justification de la sélection
5a	ZP	Vue vers la ZP depuis le sud-est du territoire de Bure	Perception trop lointaine de la ZP ne permettant pas une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. Cette vue met en évidence la position en creux du village de Bure entre le point de vue et la zone ZP.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
37	ZP	Vue vers LIS/ZP depuis Mandres-en-Barrois	Perception trop lointaine de la ZP et présence de végétation (haies) au premier plan ne permettant pas une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
18	ZP	Vue vers LIS/ZP depuis Mandres-en-Barrois	Le village de Mandres-en-Barrois est en creux par rapport à la ZP et les bosquets d'arbres disséminés sur le territoire nord du village ne présente aucune covisibilité directe vers la ZP.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
15b	ZP	Vue vers l'ouest depuis la sortie d'Horville-en-Ornois en direction de la ZP et LIS	Perception trop lointaine de la ZP ne permettant pas une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. La topographie et les boisements entre le village de Horville-en-Ornois empêche toute covisibilité vers les sites du projet (les collines coupent la perspective).	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
25a	ZP	Vue vers la ZP depuis le sud-ouest (perception éloignée) - au-dessus de Saudron	Point de vue trop lointain pour pouvoir distinguer le projet. De plus, sa localisation en plein champ ne correspond pas à une implantation en espace public fréquenté.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZP car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
19b	ZP	Vue vers la ZP depuis la route départementale D960	Ce point de vue permet, grâce à un zoom, de distinguer et percevoir le projet, et ainsi de disposer d'un visuel pour illustrer un ou des impacts en perception lointaine de la ZP et de la LIS	Point de vue retenu en illustration des impacts en perception lointaine de la ZP.
30	ZP	Vue sur la ZP depuis un chemin rural au sud de la ZP (vue proche) - Chemin en provenance de Mandres-en-Barrois	Bonne perception du bois Lejuc à une distance suffisamment proche pour distinguer le projet et pour permettre l'analyse des incidences sur le paysage. Cette dernière peut illustrer des impacts en perception proche de la ZP. Cette implantation à proximité de la LIS et son orientation nord/sud rendent cette vue intéressante et exploitable. La frange sud du bois Lejuc présente les zones de boisements les plus visibles après défrichements.	Point de vue retenu en illustration d'impacts en perception proche de la ZP.
29b	ZD	Vue sur la ZD depuis la route départementale D127 à l'approche du territoire nord du village de Bure	Perception trop lointaine de la zone descenderie ne permettant pas une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. De plus, la topographie ne favorise pas la perception de la ZD (les collines coupent la perspective).	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZD afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
5b	ZD	Vue vers la ZD depuis Bure	Perception trop lointaine de la ZD ne permettant pas une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. De plus, la topographie ne favorise pas la perception de la ZD (les collines coupent la perspective).	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZD afin d'illustrer son incidence visuelle. Cependant, cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidence potentielle du fait d'absence d'intervisibilité/covisibilités (obstacle visuel, distance trop lointaine).
20b	ZD/LIS	Vue depuis la route départementale D132 à mi-chemin entre Bure et Mandres-en-Barrois, orientée vers le sud-ouest (ZD)	Cette vue en frange de la départementale est intéressante car elle permet une perception lointaine de la ZD. De plus, l'implantation de la vue coïncide avec le raccordement de la LIS.	Cette vue est à la fois employée pour la perception lointaine des impacts du projet (ZD) et pour illustrer la perception proche des impacts du projet (LIS).
38	ZD	Vue vers la ZD en sortie de Mandres-en-Barrois (RD138)	Cette vue est trop lointaine pour distinguer le projet et permettre une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. Frange du village de Mandres perceptible sur la droite. La topographie gêne la vue.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZD car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
25b	ZD	Vue vers la ZD (depuis nord-ouest) - au-dessus du village de Saudron	Ce point de vue ne correspond pas à une perception sur emprise publique fréquentée.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZD car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.

Point de vue étudié	Site observé	Description	Commentaire	Justification de la sélection
26	ZD	Vue vers la ZD depuis le nord (proche)	Malgré sa proximité, l'implantation de la vue sur un chemin agricole n'est pas représentative d'une perception sur emprise publique fréquentée.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la ZD car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
21a	ZD	Vues vers la ZD sur sa frange est depuis l'est (route départementale D960)	L'angle de vue n'est pas suffisamment orienté vers la ZD pour permettre une perception proche de la zone.	Cette vue n'est pas employée pour la perception proche de la ZD car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
42	ZD	Vue vers la ZD depuis la route départementale D960, au niveau de la jonction avec la route départementale D227	Perception proche du site à partir d'un axe routier emprunté par la population locale. Cependant la vue ne permet pas une visualisation panoramique de la ZD de part et d'autre de la voie de circulation.	Cette vue n'est pas employée pour la perception proche de la ZD car elle ne permet pas de disposer d'une vue panoramique de la ZD.
11b	ZD	Vue vers la ZD depuis le sud-est (éloignée) – Ferme-Saint-Eloi (proche la route départementale D138c)	La topographie et le bois de Glandenoie sur les hauteurs ne permettent pas une perception jusqu'à la ZD (vue en contre bas d'une colline et présence de boisements).	Cette vue n'est pas employée pour la perception proche de la ZD car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer un les incidences potentielles du projet.
22a	ZD	Vue orientée vers le sud-est vers la ZD depuis la route départementale D60	Cette vue offre une perspective ouverte sur le paysage. Cependant, elle n'englobe pas la totalité de la ZD.	Cette vue n'est pas employée pour la perception proche de la ZD car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
28a	ZD	Vue depuis le chemin de grande randonnée GR703 près du bois de Glandenoie en direction de la ZD	Cette vue offre une perception lointaine de la ZD depuis un chemin de grande randonnée.	Point de vue retenu en illustration des impacts en perception lointaine de la ZD.
22b	ZD	Vue vers la ZD orientée vers le sud-est depuis la route départementale D60	L'axe de circulation en pente de la route départementale D60 jusqu'au village de Saudron offre une perspective ouverte sur le paysage. Cette vue met en scène le village de Saudron limitrophe à la ZD.	Point de vue retenu en illustration des impacts en perception proche de la ZD.
8	ZD	Vue vers la ZD et l'amorce de l'ITE depuis les hauteurs de Gillaumé près du lieudit « Le Plat Champ ».	Cette vue à l'intérêt de montrer la ZD et son raccordement à l'ITE. Elle complète la vue 9b en contre bas sur la route départementale D175. Ce point de vue correspond à la perception du projet par les villageois de Gillaumé implantés sur les coteaux de l'Orge faisant face à la ZD et l'ITE.	Point de vue retenu en illustration des impacts en perception proche de la ZD.
9b	ZD	Vue sur la ZD depuis la route départementale D175 en contre bas de Gillaumé et longeant l'Orge.	Vue sur la ZD, perceptible par les habitants/usagers empruntant la départementale reliant Gillaumé à Saudron.	Point de vue retenu en illustration des impacts en perception proche de la ZD.
29a	LIS	Vue sur la LIS depuis la route départementale D127 à proximité du nord du village de Bure	Ce point de vue est trop éloigné de l'implantation de la LIS pour permettre une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la LIS car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
19a	LIS/ZD	Vue vers la LIS et la ZD depuis Mandres-en-Barrois (route départementale D960)	Ce point de vue est trop éloigné de l'implantation de la LIS et de la ZD pour permettre une exploitation utile pour l'analyse des incidences paysagères. Le projet n'est pas suffisamment perceptible.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la LIS ni de la ZD car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
21b	LIS/ZD	Vue en direction de la LIS près de la jonction avec la route départementale D960	Angle de vue intéressant du fait de la proximité de la LIS mais présentant moins d'intérêt que la vue 20b (vision moins globale des installations et la zone ZD n'apparaît pas en arrière-plan).	Ce point de vue n'est pas retenu. Le point de vue 20b est plus adapté pour l'analyse des incidences paysagères. Les impacts y seront plus facilement perceptibles.
21c	LIS/ZD	Vue en direction de la LIS puis de la ZD près de la jonction avec la route départementale D960	Angle de vue intéressant du fait de la proximité de la LIS mais présentant moins d'intérêt que la vue 20b (vision moins globale des installations et la ZD n'apparaît que partiellement.	Ce point de vue n'est pas retenu. Le point de vue 20b est plus adapté pour l'analyse des incidences paysagères.
20a	LIS/ZP	Vue sur la LIS vers le nord depuis la route départementale D132	Vue proche de la LIS en direction de la ZP. La perception de la ZP est cependant trop lointaine pour distinguer le projet.	Ce point de vue n'est pas retenu car il ne permet pas de visualiser la ZP. La perception de la LIS n'est pas globale. Pour illustrer la LIS, le point de vue 20b est mieux implanté.
11c	LIS	Vue vers la LIS depuis le sud-est (éloignée)	Cette vue est trop lointaine pour percevoir la LIS. De plus, la topographie ne permet pas une perception lointaine.	Cette vue n'est pas employée pour la perception lointaine de la LIS car elle n'est pas suffisamment représentative pour illustrer les incidences potentielles du projet.
39a	ITE	Vue vers l'ITE depuis la route départementale D175 - au point de jonction du chemin de randonnée	Cette vue en frange d'une route départementale et d'un chemin de randonnée permet la perception proche de l'ITE.	Ce point de vue pourra être utilisé dans le cadre d'une actualisation ultérieure de l'étude d'impact, lorsque le projet paysager de l'ITE sera défini plus précisément. À ce stade, il n'est pas employé pour l'analyse des incidences paysagères.

Point de vue étudié	Site observé	Description	Commentaire	Justification de la sélection
39b	ITE	Vue vers l'ITE depuis la route départementale D175 - au point de jonction du chemin de randonnée	Angle de vue très proche de la vue 39a mais moins intéressante car axée sur le chemin de randonnée.	Cette vue n'est pas employée pour la perception proche de l'ITE.
10a	ITE	Vue vers l'ITE depuis le sud (Cirfontaines-en-Ornois)	Vue en frange de Cirfontaines-en-Ormois et implantée sur la route départementale D115A offrant une perception lointaine de l'ITE. Perception plus axée vers le rétablissement futur de la route départementale D115A que la vue 10b.	Ce point de vue pourra être utilisé dans le cadre d'une actualisation ultérieure de l'étude d'impact, lorsque le projet paysager de l'ITE sera défini plus précisément. À ce stade, il n'est pas employé pour l'analyse des incidences paysagères.
10b	ITE	Vue vers l'ITE depuis le sud (Cirfontaines-en-Ornois)	Angle de vue proche de la vue 10a. Vue en frange de Cirfontaines-en-Ornois et implantée sur la route départementale D115A offrant une perception lointaine de l'ITE.	Ce point de vue pourra être utilisé dans le cadre d'une actualisation ultérieure de l'étude d'impact, lorsque le projet paysager de l'ITE sera défini plus précisément. À ce stade, il n'est pas employé pour l'analyse des incidences paysagères.
11a	ITE	Vue depuis la Ferme-Saint-Eloi proche de la route départementale D138c reliant Mandres-en-Barrois et Cirfontaines-en-Ornois	Point de vue situé en plein champ sur un chemin agricole.	Ce point de vue n'est pas retenu car il n'est pas suffisamment représentatif de la perception du projet depuis un lieu vécu.
12a	ITE	Vue dans l'axe de ITE depuis la sortie de Luméville-en-Ornois proche de la route départementale D138	Point de vue permettant une perception proche de l'ITE.	Ce point de vue pourra être utilisé dans le cadre d'une actualisation ultérieure de l'étude d'impact, lorsque le projet paysager de l'ITE sera défini plus précisément. À ce stade, il n'est pas employé pour l'analyse des incidences paysagères.
12b	ZP	Vue vers le nord depuis l'ITE orientée vers la ZP depuis la sortie de Luméville-en-Ornois proche de la route départementale D138	Angle de vue ne permettant pas de perception de la ZP.	Ce point de vue n'est pas retenu car il n'est pas représentatif de la perception du projet pour illustrer les incidences potentielles du projet.

Point de vue étudié	Site observé	Description	Commentaire	Justification de la sélection
14	ITE	Vue au niveau de la route départementale D32 en sortie de Luméville-en-Ormois en direction Horville-en-Ornois. L'ITE est implantée coté accotement nord de la route départementale longeant le bois la Trémont.	Cette vue, axée sur la route départementale, ne permet pas une pleine perception de l'ITE.	Ce point de vue pourra être utilisé dans le cadre d'une actualisation ultérieure de l'étude d'impact, lorsque le projet paysager de l'ITE sera défini plus précisément. À ce stade, il n'est pas employé pour l'analyse des incidences paysagères.
24a	ZD/LIS	Vue vers l'ouest depuis le bois la Trémont à proximité du village de Luméville-en-Ornois à proximité immédiate du GR703	Malgré sa position sur les hauteurs de Luméville-en-Ornois à proximité du chemin de grande randonnée, la perception est trop lointaine pour distinguer le projet.	Cette vue n'est pas employée pour la perception proche de la ZD/LIS car elle ne permet pas de visualiser distinctement le projet.
15a	ITE	Vue sur l'ITE dans sa partie existante depuis le village d'Horville-en-Ornois	Cette vue au sud du village de Horville-en-Ornois en bordure de la route départementale D132 favorise une perception proche ou lointaine de l'ITE.	À ce stade, ce point de vue est retenu en illustration des impacts en perception lointaine de l'ITE. Lorsque le projet paysager de l'ITE sera défini plus précisément, le point de vue pourra également illustrer des impacts en perception proche dans une prochaine actualisation de l'étude d'impact.
24b	ITE	Vue vers l'ITE et le village de Luméville-en-Ornois depuis le bois la Trémont à proximité immédiate du GR703	Vue depuis les hauteurs de Luméville-en-Ornois à proximité du chemin de grande randonnée permettant une perception proche de l'ITE.	Point de vue est retenu en illustration des impacts en perception proche de l'ITE.
9a	ITE	Vue depuis le village de Gillaumé en direction du raccordement de l'ITE à la ZD (depuis la route départementale D175)	Cette vue offre une perspective sur le raccordement de l'ITE à la ZD.	Ce point de vue est retenu en illustration des impacts en perception proche de l'ITE.
28b	ITE	Vue depuis le GR703 près du bois de Glandenoie en direction de l'ITE	Vue permettant une perception proche de l'ITE depuis un chemin de grande randonnée.	Ce point de vue est retenu en illustration des impacts en perception proche de l'ITE.

Point de vue étudié	Site observé	Description	Commentaire	Justification de la sélection
44	ITE	Vue depuis la plateforme de Gondrecourt-le-Château, ancien site industriel, en direction du clocher de l'église paroissiale de la Nativité-de-la-Vierge	Il n'est pas prévu de réaliser des ouvrages ou d'implanter de nouveaux bâtiments sur cette plateforme – absence d'impact.	Cette vue n'est pas utilisée pour illustrer un impact. Cependant cette vue est utilisée pour illustrer l'absence d'incidences potentielles du projet

TABLEAU DE TRAÇABILITE DES PRINCIPALES EVOLUTIONS DE FOND DE L'ETUDE D'IMPACT

Chapitre Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume VII de l'Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)
	Général			x		Actualisation réglementaire avec le décret n° 2021-837 du 29 juin 2021 portant diverses réformes en matière d'évaluation environnementale et de participation du public dans le domaine de l'environnement (remplacement du terme « état actuel » par « état initial »)
	Préambule	x				Actualisation du tableau des volumes de l'étude d'impact Précisions apportées dans la rédaction du bloc « Étude d'impact et projet global Cigéo »
1.1.1	**Des niveaux d'études adaptées à l'avancement de la conception et des concertations préalables de chaque opération du projet global Cigéo**	x				Actualisation de l'état d'avancement des différentes opérations du projet global Cigéo
1.1.3.1.2	**Appréciation du niveau d'incidence**	x				Précisions apportées sur les éléments d'appréciation du niveau d'incidence
1.1.3.2.1	**Définition des mesures selon la séquence éviter/réduire/compenser les incidences**	x				Précisions apportées sur la présentation des mesures ERC
1.1.3.2.2	**Démarche d'analyse selon la séquence ERC**	x				Précisions apportées sur la démarche d'analyse des incidences potentielles et sur la présentation des synthèses des mesures mises en œuvre par thématique
1.2.2.1	**Définition des aires d'étude des facteurs relatifs au milieu physique : atmosphère, sols, sous-sols, eaux**				x	Actualisation de l'aire d'étude éloignée de la thématique « Eaux » pour prendre en compte la recommandation de l'Autorité environnementale sur l'Étude d'impact de la déclaration d'utilité publique (DUP) du projet global Cigéo
1.2.2.5	**Définition des aires d'étude pour le paysage, le patrimoine culturel, le tourisme et les activités de loisirs**	x				Précisions apportées sur la définition et la cartographie des aires d'étude relatives du paysage
1.2.2.6	**Définition des aires d'étude pour les interactions**	x				Précisions apportées sur la définition et la cartographie des aires d'étude relatives aux interactions
2.2.1 2.2.1.1 2.2.1.2 2.2.1.3	**État initial La station météorologique de Saint-Dizier La station météorologique et atmosphérique d'Houdelaincourt La station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois**	x				Actualisation des périodes analysées pour caractériser l'état initial relatif aux conditions météorologiques
2.2.2	**Incidences**	x				Ajout d'un chapitre sur la méthode utilisée pour évaluer les incidences du projet global Cigéo sur les conditions météorologigues
2.3	**Vulnérabilité aux risques météorologiques**	x				Ajout d'un chapitre sur la méthode utilisée pour caractériser l'état initial et évaluer la vulnérabilité du projet global Cigéo aux risques météorologiques
2.4.1	**État initial**	x				Actualisation des périodes analysées pour caractériser l'état initial relatif à l'énergie et les gaz à effet de serre
2.5.1.1	**État initial**	x				Actualisation des références des documents sources pour caractériser l'état initial relatif à la qualité de l'air
2.5.1.2.2	**Substances et hypothèses retenues pour la modélisation**	x				Précisions apportées sur les hypothèses retenues pour la modélisation
2.5.1.2.3	**Substances non retenues**	x				Précisions et justifications apportées sur les substances non retenues dans la modélisation
2.5.2.2.1	**Méthode d'évaluation des émissions atmosphériques radioactives**	x				Précisions apportées sur la quantification des émisssions gazeuses

Chapitre Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume VII de l'Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)
3.3.3	Caractéristiques radiologiques des sols	x				Précisions apportées sur la méthode utilisée pour caractériser l'état initial radiologique des sols
3.3.4	Sites et sols pollués ou potentiellement pollués	x				Chapitre créé reprenant le contenu du chapitre 11.3 « Sites et sols pollués ou potentiellement pollués » de l'Étude d'impact de la déclaration d'utilité publique (DUP)
3.4	Analyse des incidences sur le sol	x				Précisions apportées sur la méthode utilisée pour l'analyse des incidences sur le sol
4.2	Analyse des éléments radioactifs présents dans le sous-sol	x				Ajout d'un chapitre sur la méthode utilisée pour caractériser l'état initial radiologique du sous-sol
4.3	Risques naturels de mouvements de terrain	x				Précisions apportées sur les références d'études utilisées pour caractériser le risque sismique
4.4	Analyse des impacts sur le sous-sol	x				Précisions apportées sur la méthode utilisée pour l'analyse des incidences sur le sous-sol
Général 5.1 5.2	Définition de l'état initial Évaluation des incidences		x			Actualisation suite à l'adoption du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2022-2027 et du SDAGE Rhin-Meuse 2022-2027
5.1	Définition de l'état initial		x			Ajout d'une introduction à la synthèse des données acquises par l'Andra
5.1.1.1	Définition du système hydrogéologique		x			Ajout de la référence au SDAGE 2022-2027
5.1.1.2	Détermination des niveaux piézométriques		x			Actualisation des tableaux avec de nouveaux forages
5.1.1.3.2	Données utilisées		x			Précisions apportées sur les données utilisées pour déterminer l'état des masses d'eau souterraines
5.1.1.3.3	Stations de suivi		x			Ajout des campagnes de prélevement de 2019 Précisions apportées sur l'utilisation des données des agences de l'eau Précisions apportées sur l'aquifère echantillonné et les codes BSS associés et ajout d'une station pour l'Oxfordien
5.1.1.4	Recensement des usages des eaux souterraines		x			Actualisation avec la campagne de terrain diligentée par l'Andra entre novembre 2020 et avril 2021
5.1.2.1.2	Identification des bassins versants topographiques		x			Ajout des nouveaux référentiels projetés des SDAGE 2022-2027 de la Seine et des cours d'eau côtiers normands et Rhin-Meuse
5.1.2.2.1	Règlementation et exigences		x			Actualisation suite à l'approbation des PGRI 2022-2027
5.1.2.2.2	Définition de l'état initial pour le risque inondation		x			Ajout de la simulation hydraulique
5.1.2.3 5.1.2.4 5.1.2.5	Détermination des débits des cours d'eau Détermination des caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau Détermination de l'état qualitatif des cours d'eau		x			Ajout des campagnes de mesure 2019, des données de l'Office français de la biodiversité, de l'Observatoire des assecs et des caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau
5.1.2.5.3	Données utilisées		x			Précisions apportées sur les données utilisées pour déterminer l'état qualitatif des cours d'eau
5.1.2.5.4	Stations		x			Précisions apportées sur la comparaison des données acquises par l'Andra et celles par l'Agence de l'eau
5.1.2.5.5	Programme analytique pour les paramètres conventionnels		x			Actualisation avec les prélèvements 2018 et 2019
5.2.1.1	Modélisations des incidences du centre de stockage Cigéo sur les eaux souterraines	x				Actualisation de la description des modèles

Chapitre Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume VII de l'Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)
5.2.1.2	Disponibilité durable de la ressource en eau	x				Précisions apportées sur la distribution d'eau potable et les principales caractéristiques des captages
5.2.2.2	Modélisation hydraulique	x				Ajout de la description du modèle hydraulique utilisé pour caractériser le risque d'inondation
5.2.2.3	Définition de la "pluie de référence" ou pluie projet	x				Ajout d'un encart de synthèse sur la pluie de référence
5.2.2.4.2	Objectifs pour le centre de stockage Cigéo	x				Actualisation du chapitre avec la conception des filières de traitement des effluents et la conformité avec les objectifs de qualité des milieux récepteurs Précisions apportées sur la détermination du débit de rejet maximal
5.2.2.4.3	Dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales pour le centre de stockage Cigéo	x				Ajout des fiches hydrologiques de la Bureau, de l'Ormançon et de l'Orge
5.2.2.4.4	Définition des bases de dimensionnement des traitements des eaux pour le centre de stockage Cigéo	x				Actualisation avec la méthode de calcul des rejets des effluents liquides conventionnels dans les cours d'eau récepteurs Précisions apportées sur la production de boues
5.2.2.4.5	Détermination de l'impact qualitatif des rejets pluviaux et rejets conventionnels épurés du centre de stockage Cigéo sur les masses d'eaux superficielles	x				Actualisation avec la méthode de calcul des rejets des effluents liquides conventionnels dans les cours d'eau récepteurs Précisions apportées sur les normes radiologiques
6.1.2.1	Analyse bibliographique		x			Ajout d'un paragraphe relatif à la nouvelle étude bibliographique réalisée sur l'aire d'étude immédiate entre 2010 et 2021 Précisions apportées sur les données collectées par l'Andra dans le cadre du projet global Cigéo avant 2015
6.1.2.2	Pré-diagnostic – reconnaissance des sites d'intérêt		x			Ajout d'un chapitre sur la reconnaissance préliminaires des sites d'intérêt
6.1.2.3	Inventaires de terrain		x			Précisions et justifications apportées sur la robustesse et l'efficacité des données d'inventaires réalisés sur la période 2015-2020 Actualisation des cartographies et tableaux présentant les périodes et zones de prospection sur la période 2015-2020
6.1.3.1	Méthodologie pour l'étude des habitats terrestres		x			Précisions apportées sur la méthode de regroupement des habitats en grandes catégories
6.1.4	Inventaires de la faune		x			Ajout de cartes de localisation des méthodes d'inventaires pour les insectes, les reptiles, les mammifères, les chiroptères, les poissons et les mollusques
6.1.4.5	Protocoles d'observation des mammifères (hors chiroptères)		x			Précisions apportées sur les méthodes d'inventaires des mammifères
6.1.4.6	Protocoles d'écoute et de suivi des chiroptères		x			Précisions apportées sur les méthodes d'inventaires des chiroptères
6.1.4.7	Protocoles d'observation de la faune piscicole		x			Précisions apportées sur les méthodes d'inventaires des zones de frayères
6.1.4.8	Protocoles d'observation des mollusques		x			Précisions apportées sur les méthodes d'inventaires des mollusques
6.1.4.9	Regroupement en cortèges d'espèces faune		x			Ajout d'une partie relative au regroupement en cortèges d'espèces
6.1.5	Délimitation des zones humides		x			Actualisation de la méthode de délimitation des zones humides
6.1.7	État radiologique actuel		x			Actualisation de la méthode de caractéristation de l'état radiologique actuel
6.1.8.2	Évaluation des enjeux à l'échelle régionale	x				Actualisation de la grille d'analyse pour l'appréciation des enjeux de préservation des espèces
6.1.9	Appréciation des niveaux d'intérêt des habitats d'espèces	x				Actualisation de la méthode utilisée pour la qualificiation des niveaux d'intérêt des habitats d'espèces

Chapitre Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume VII de l'Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)
6.1.10	**Synthèse de la démarche d'analyse de l'état initial du milieu naturel**		x			Actualisation du schéma de synthèse de la démarche d'analyse des enjeux écologiques
6.2.1	**Effets du projet sur l'environnement**	x				Précisions apportées sur les incidences sur les zonages environnementaux, les continuités écologiques, les zones humides, et les pollutions conventionnelles et radiologiques
6.2.2	**Évaluation des niveaux d'incidences**	x				Ajout de la méthode relative à la qualification des incidences potentielles : notables/non notables
6.2.3	**Incidences sur les zonages environnementaux**	x				Ajout de la méthode relative à la caractérisation de l'incidence sur les zonages environnementaux
6.2.5	**Incidences sur les continuités écologiques**	x				Précision apportée sur la modélisation des trames
6.2.6	**Incidences radiologiques**	x				Ajout d'un chapitre sur la méthode relative à la caractéristation de l'incidence radiologique
6.3.1	**Les grands principes de la compensation écologique**	x				Précisions apportées sur l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité
6.3.2.2	**Respecter l'exigence de proximité fonctionnelle**	x				Précisions apportées sur le respect de la proximité fonctionnelle des sites de compensation
6.3.3	**Méthode de dimensionnement de la dette et du gain écologiques des fonctionnalités des habitats**	x				Actualisation de la méthode utilisée pour le calcul de la dette et du gain écologiques
6.4.5	**Cumul des incidences du projet global Cigéo avec d'autres projets existants ou approuvés**	x				Actualisation de la méthode en cohérence avec celle appliquée pour le chapitre 16
7	**Population, emploi, activités économiques et habitat - Méthodes**		x			Précisions apportées sur les données utlisées du SRADDET de la région Grand Est et de l'INSEE
7.1	**Aires d'étude pour l'emploi, les activités économiques et la population**		x			Ajout d'un chapitre présentant les aires d'étude analysées pour l'emploi, les activités économiques et la population
7.2 **7.2.1**	**Population** **État initial**		x			Précisions apportées sur la méthode utilisée relative à la caractérisation de l'état initial de la population
7.3 **7.3.1**	**Emploi et activités économiques** **État initial**		x			Précisions apportées sur la méthode utilisée relative à la caractérisation de l'état initial de l'emploi et des activités économiques
7.4 **7.4.1**	**Habitat** **État initial**		x			Précisions apportées sur la méthode utilisée relative à la caractérisation de l'état initial de l'habitat
8.1	**État initial des activités agricoles et sylvicoles**	x	x			Actualisation du chapitre avec les références des données utilisées pour caractériser l'état initial agricole et sylvicole
8.3	**Détermination de la compensation collective agricole**	x				Précisions apportées sur les méthodes possibles de compensation foncière et financière
8.5	**Détermination de la compensation forestière**	x				Précisions apportées sur le montant de l'enveloppe financière relative à la compensation de la première phase de défrichement
9.1	**État initial des réseaux**		x			Précisions apportées sur la méthode de caractérisation de l'état initial des réseaux
9.2	**Évaluation des incidences sur les réseaux**	x				Précisions apportées sur la méthode d'analyse des incidences du projet global Cigéo sur les réseaux
10.1.1	**État initial**		x			Précisions apportées relatives aux aires d'étude étudiées et au PNGMDR
10.1.2	**Incidences et mesures**	x				Précisions apportées sur la méthode d'analyse des incidences du projet global Cigéo sur les déchets radioactifs

Chapitre Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume VII de l'Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)
10.2.1	État initial		x			Ajout d'un chapitre sur la méthode de caractérisation de l'état initial relatif aux déchets conventionnels
10.2.2	Incidences et mesures	x				Précisions apportées sur la méthode d'évaluation des incidences du projet global Cigéo sur la gestion des déchets
11.1	État initial : identification et présentation des risques externes à retenir pour réaliser ensuite l'évaluation des incidences		x			Ajout d'un chapitre relatif à la méthode de caractérisation de l'état initial relatif aux risques
11.1.1	Recensement des risques d'origine naturelle		x			Ajout d'un chapitre relatif à la méthode de caractérisation de l'état initial relatif aux risques d'origine naturelle
11.1.2	Recensement des risques d'origine anthropique		x			Actualisation des éléments relatifs à la méthode de caractérisation de l'état initial relatif aux risques d'origine anthropique
11.2	Incidences : risques générés par le projet global Cigéo et vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs	x				Ajout d'un chapitre relatif à la méthode d'analyse pour évaluer les incidences du projet global Cigéo sur les risques et sa vulnérabilité à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs
12.2	Recensement des infrastructures et services de transport		x			Précisions apportées au recensement des voiries interceptées par le centre de stockage Cigéo
12.3.1	Trafic ferroviaire		x			Précisions apportées sur la dernière édition de l'atlas du réseau ferré
12.3.2.1	Caractérisation de l'état initial : comptages routiers	x	x			Ajout d'une présentation de la campgane de comptage de trafic réalisée en 2020
12.3.2.2	Évaluation des incidences : modélisation	x				Actualisation suite à la réalisation d'une nouvelle modélisation de trafic par le Cerema
13.1.1	Réglementation			x		Précisions apportées sur la réglementation liée à l'environnement sonore
13.1.2	État initial		x			Actualisation des données relatives aux campagnes de mesures acoustiques réalisées entre 2015 et 2019
13.1.3	Incidences	x				Précisions apportées sur la méthode utilisée et les hypothèses retenues pour réaliser les modélisations acoustiques
13.2.1	Réglementation		x			Précisions apportées sur la réglementation liée à l'environnement vibratoire
13.2.2	État initial		x			Précisions et justifications apportées sur les mesures de vibration réalisées afin de caractériser l'état initial
13.3	Environnement lumineux	x	x			Précisions apportées sur les différentes réglementations Précisions apportées sur les méthodes relatives à la caractérisation des états initiaux et aux analyses des incidences du projet global Cigéo
13.4	Environnement olfactif	x	x			
13.5	Environnement électromagnétique	x	x			
14.1	Paysage		x			Actualisation du chapitre pour présenter la méthode d'analyse du paysage par unités et sous-unités paysagères et par points de vue représentatifs du territoire (espaces vécus)
14.2.1	État initial du patrimoine culturel		x			Précisions apportées sur la méthode utilisée pour caractériser l'état initial du patrimoine culturel
15	Planification territoriale - Méthodes					Pas d'évolutions importantes de fond
16.1.1.1	Des interactions entre milieux aux services écosystémiques	x				Précisions apportées sur les catégories de services écosystémiques
16.1.1.3	Caractérisation des services écosystémiques	x				Précisions apportées sur les objectifs de la caractérisation des services écosystémiques

Chapitre Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)		Prec-Car	Ev-Initial	Ev-Reg	Prec-RepSI	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume VII de l'Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC)
16.1.1.3.3	**Identification des services écosystémiques sur les aires d'étude**	x				Précisions et justifications apportées sur la démarche retenue pour l'identification des services écosystémiques Ajout d'un tableau pour illustrer la présentation de la méthode
16.1.1.3.4	**Évaluation des services écosystémiques autour du projet global Cigéo**	x				Clarification de la présentation de la méthode d'évaluation des services écosystémiques
16.2.1	**Réglementation**			x		Actualisation suite au décret n° 2021-837 du 29 juin 2021 portant diverses réformes en matière d'évaluation environnementale et de participation du public dans le domaine de l'environnement
16.2.2	**Notion de cumul des incidences**	x				Précisions apportées sur la notion de cumul des incidences
16.2.3	**Recensement des projets existants et approuvés**		x	x		Précisions apportées sur la méthode de recensement des projets au vu de l'évolution réglementaire
16.2.4	**Analyse des incidences cumulées avec le projet global Cigéo**	x				Précisions apportées sur la méthode d'analyse des incidences cumulées avec le projet global Cigéo
17	**Meilleures techniques disponibles**	x				Création d'un nouveau chapitre 17 dans l'Étude d'impact de la demande d'autorisation de création (DAC) pour introduire les éléments de méthodolgie relatif à la justification de l'utilisation des meilleures techniques disponibles pour l'installation nucléaire de base (INB) du centre de stockage Cigéo conformément aux dispositions de l'article R. 593-17 du code de l'environnement
18	**Démarche d'évaluation des incidences après fermeture**	X				Compléments en lien avec le l'étude de maîtrise des risques pièce 8 au dossier de demande d'autorisation de création (DAC) et le plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance (PDFS), pièce 13 du dossier de demande d'autorisation de création (DAC)
Annexe 2	**Caractéristiques des sources d'émission atmosphériques**	x				Actualisation des données relatives aux sources d'émissions atmosphériques du projet global Cigéo
Annexe 7	**Détail des dates et conditions des prospections faune-flore-habitats**		x			Actualisation des dates de prospections écologiques sur la période 2015-2020
Annexe 8	**Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces**	x				Ajout de nouvelles grilles d'analyse : • 8.1 Référentiel habitats et qualification de l'état de conservation • 8.2 Détermination des cortèges d'espèces • 8.3 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces par cortège
Annexe 9	**Réglementation liée à l'environnement sonore**	x		x		Actualisation des références réglementaires relatives aux émissions sonores
Annexe 10	**Tableau détaillé des points de vue de l'étude paysagère**	x				Ajout d'un tableau de présentation des points de vue utilisés pour illustrer les impacts du projet global Cigéo sur le paysage

Prec-Car : les précisions que les maîtres d'ouvrage apportent aux caractéristiques détaillées des opérations composant le projet global liées à des précisions ou aux évolutions de la conception

Ev-Initial : l'évolution de l'état initial de l'environnement en lien avec la date de dépôt de l'étude d'impact

Ev-Reg : les évolutions réglementaires

Prec-RepSI : précisions que les maîtres d'ouvrage apportent aux caractéristiques détaillées des opérations composant le projet global liées aux réponses apportées aux remarques émises par les services instructeurs lors de l'instruction de la précédente étude d'impact

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1 Présentation générale de la démarche d'évaluation des incidences (impacts) 10
Figure 1-2 Cartographie du territoire couvert par l'observatoire pérenne de l'environnement 13
Figure 1-3 Des effets de différents types 14
Figure 1-4 Démarche éviter réduire compenser 15
Figure 1-5 Aire d'étude immédiate et aire d'étude spécifique à l'opération de sécurisation de la ligne aérienne 400 kV 18
Figure 1-6 Aires d'étude du milieu physique (atmosphère, sol et sous-sol) 19
Figure 1-7 Traçages hydrogéologiques et directions globales des écoulements dans les Calcaires du Barrois depuis la zone descenderie 20
Figure 1-8 Aires d'étude de la thématique eaux 21
Figure 1-9 Aires d'étude du milieu naturel 23
Figure 1-10 Aires d'étude du milieu humain 25
Figure 1-11 Aires d'étude des activités agricoles et sylvicoles 27
Figure 1-12 Aires d'étude du paysage 28
Figure 1-13 Aires d'étude pour les interactions 29
Figure 2-1 Localisation des stations météorologiques d'Houdelaincourt, de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois 34
Figure 2-2 Photographie aérienne illustrant la station atmosphérique de Houdelaincourt et son environnement proche 35
Figure 2-3 Station météorologique d'Houdelaincourt 35
Figure 2-4 Démarche mise en œuvre par le logiciel ARIA Impact™ 39
Figure 2-5 Localisation des sources prises en compte dans la modélisation en phase de construction initiale 41
Figure 2-6 Localisation des sources prises en compte dans la modélisation en phase de fonctionnement 41
Figure 2-7 Localisation des points de prélèvement des échantillons pour les mesures de la radioactivité 45
Figure 2-8 Principes de calcul de l'estimation des rejets gazeux 47
Figure 2-9 Représentation d'une bouffée gaussienne et classes de stabilité 50
Figure 5-1 Localisation des stations et forages de suivi des eaux souterraines et superficielles (source : Andra) 63
Figure 5-2 Processus de définition de l'état des masses d'eau souterraines 66
Figure 5-3 Localisation des stations de suivi de la qualité des eaux souterraines de l'Andra 68
Figure 5-4 Station de suivi en continu des eaux de surface (station OPE 90014 le long de l'Ornain) 73
Figure 5-5 Carte des stations de jaugeage de l'Observatoire pérenne de l'environnement et des services de l'État et recensées dans « Eaufrance » 74
Figure 5-6 Règle de détermination de l'état des masses d'eau superficielles selon la directive cadre sur l'eau) 75
Figure 5-7 Règles de détermination de l'état écologique des masses d'eau superficielles 75
Figure 5-8 Carte des stations de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement pour les prélèvements et les analyses qualitatives des eaux de surface 78
Figure 5-9 Extension et contenu géologique du modèle 3D 82
Figure 5-10 Cartographie des conditions aux limites définies pour le modèle hydrogéologique 83
Figure 5-11 Tronçons excédentaires et injecteurs contrôlés par la routine de réinjection de flux 83
Figure 5-12 Synthèse des informations hydrogéologiques des relations de l'Orge et de l'Ormançon avec le karst du Barrois 84
Figure 5-13 Distribution spatiale et lithostratigraphique des éléments discrets de type fracture ouverte sur joint stratigraphique (développement horizontal 2D) ou de type diaclase (développement 3D) 85
Figure 5-14 Comparaison des hauteurs d'eau simulées (courbe verte) et des mesures (courbe rouge) - au piézomètre EST5078 localisé au nord-ouest du modèle 86
Figure 5-15 Comparaison des hauteurs d'eau simulées et des mesures - piézomètres localisés au niveau de la zone puits (mesure en rouge, modèle en vert) 86
Figure 5-16 Représentation schématique de la nouvelle conceptualisation (03-2021) de l'épikarst des calcaires sublithographiques au droit de la zone descenderie 87
Figure 5-17 Extension prévisionnelle du nouveau modèle hydrogéologique des Calcaires du Barrois intégrant la totalité des sous-bassins versant de la Saulx et de l'Ornain jusqu'à leur confluence 88
Figure 5-18 Structure du programme scientifique proposé par le BRGM et l'Andra 88
Figure 5-19 Vue 3D du modèle à l'échelle du Bassin parisien 90
Figure 5-20 Vue 3D du modèle à l'échelle du secteur étendu 90
Figure 5-21 Failles majeures intégrées dans le modèle régional : à gauche, vue en plan ; à droite, vue 3D 91
Figure 5-22 Failles majeures à l'échelle du secteur de Meuse Haute/Marne. En bleu foncé, les failles transmissives 2D, en orange les failles étanches 3D, et la fracturation mineure en bleu clair 91
Figure 5-23 Organisation lithostratigraphique des Calcaires du Barrois indiquant les niveaux karstifiés et semi-perméables 92
Figure 5-24 Extension et épaisseur des horizons poreux et des niveaux intercalaires de la Série grise de l'Oxfordien calcaire à l'échelle du secteur 93
Figure 5-25 Vue en plan des réseaux karstiques oxfordiens à l'échelle du secteur 93
Figure 5-26 Les réseaux karstiques oxfordiens 94
Figure 5-27 Maillage régional 2D plan, avec raffinement le long des cours d'eau, le long des failles et dans le secteur b) et c) 94
Figure 5-28 Coupes transversales montrant le raffinement du maillage vertical à l'échelle du secteur 95
Figure 5-29 Réseau hydrographique : charges hydrauliques imposées au niveau des rivières 95
Figure 5-30 Recharge [m/s] imposés sur les nœuds de surface du modèle intégré 96
Figure 5-31 Répartition des points de mesures piézométriques à l'échelle du bassin. Le fond de carte correspond à la géologie de surface simplifiée 97
Figure 5-32 Diagrammes de calibration pour le domaine intégré région/secteur avec 1250 mesures directes de charge hydraulique 97
Figure 5-33 Piézométrie simulée à la surface du domaine intégré région/secteur. Le réseau hydrographique ainsi que les failles régionales sont respectivement représentés en bleu et en rouge 98
Figure 5-34 Piézométrie calculée (contours) et champs de conductivités hydrauliques (fond de carte) de l'Albien. L'échelle de conductivité est en logarithme 98
Figure 5-35 Diagramme de validation croisée de l'Oxfordien 99
Figure 5-36 Piézométries mesurées dans les nappes inférieure (a) et supérieure (b) de l'Oxfordien et simulées dans la nappe inférieure (c). La piézométrie simulée dans la nappe supérieure (d) est présentée par une différence de charge entre les niveaux piézométriques de la nappe supérieure de la nappe 99
Figure 5-37 Vues 2D et 3D du maillage en éléments finis du modèle local 101
Figure 5-38 Progression des travaux de creusement des puits 101

Figure 5-39 Localisation des puits d'accès au Laboratoire souterrain et des forages de surveillance 102
Figure 5-40 Carte de localisation des stations de mesure pluviographiques 108
Figure 5-41 Cumul des pluies à Cirfontaines-en- Ornois 112
Figure 5-42 Illustration de la situation hydraulique avant et après projet 117
Figure 5-43 Equation 3 : Formalisme de la méthode d'extrapolation de Myer 124
Figure 5-44 Schéma illustratif de la filière de traitement qualitatif des eaux de ruissellement des verses 131
Figure 5-45 Schéma illustratif de la filière de traitement qualitatif des eaux usées industrielles 134
Figure 6-1 Calendrier des périodes les plus favorables aux inventaires faune/flore (Source : DRIEE) 142
Figure 6-2 Aires d'étude éloignée et immédiate spécifiques à la biodiversité et au milieu naturel 145
Figure 6-3 Localisation des zones d'inventaires sur le milieu naturel 146
Figure 6-4 Localisation des inventaires entomologiques – 1/2 148
Figure 6-5 Localisation des inventaires entomologiques – 2/2 149
Figure 6-6 Exemple de plaque refuge (source Egis) 150
Figure 6-7 Localisation des inventaires des reptiles – 1/2 151
Figure 6-8 Localisation des inventaires des reptiles – 2/2 152
Figure 6-9 Illustration des pièges à crottes et pièges à poils (Source GREGE) 154
Figure 6-10 Localisation des inventaires des mammifères terrestres – 1/2 155
Figure 6-11 Localisation des inventaires des mammifères terrestres – 2/2 156
Figure 6-12 Localisation des points d'écoute des chiroptères – 1/2 158
Figure 6-13 Localisation des points d'écoute des chiroptères – 2/2 159
Figure 6-14 Localisation des gîtes à chiroptères – 1/2 160
Figure 6-15 Localisation des gîtes à chiroptères – 2/2 161
Figure 6-16 Localisation des pêches électriques - 1/2 163
Figure 6-17 Localisation des pêches électriques - 2/2 164
Figure 6-18 Localisation des sources prospectées pour la recherche de mollusques - 1/2 165
Figure 6-19 Localisation des sources prospectées pour la recherche de mollusques - 2/2 166
Figure 6-20 Classes d'hydromorphie du GEPPA 167
Figure 6-21 Localisation des relevés floristiques zones humides – 1/2 168
Figure 6-22 Localisation des relevés floristiques zones humides – 2/2 169
Figure 6-23 Plan des sondages pédologiques 170
Figure 6-24 Localisation des sondages pédologiques réalisés sur les zones d'intervention potentielles du centre de stockage 171
Figure 6-25 Schéma de la démarche d'appréciation des enjeux écologiques 174
Figure 6-26 Schéma de la démarche d'analyse des enjeux écologiques 180
Figure 6-27 Étapes pour le choix des sites de compensation écologique 190
Figure 6-28 Schéma de la méthode dite « par écart de milieux » utilisée pour le dimensionnement de la dette et du gain écologique 193
Figure 6-29 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de la zone descenderie 194
Figure 6-30 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de la liaison intersites 194
Figure 6-31 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de la zone puits 195
Figure 6-32 Limites des emprises pour le calcul de la dette écologique de l'installation terminale embranchée 196
Figure 6-33 Zone tampon de 100 mètres définie autour des éléments arborés de la zone descenderie pour le cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert 197
Figure 6-34 Zone tampon de 300 mètres définie autour des mares et cours d'eau dans la zone puits pour le cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec mares/étangs (reproduction) 198
Figure 6-35 Étapes de l'évaluation des incidences Natura 2000 199
Figure 8-1 Indice du prix du lait AOP/IGP et conventionnel 217
Figure 12-1 Périmètre de la modélisation de trafic 234
Figure 12-2 Carte du réseau modélisé au sein du modèle en fonction de la catégorie de voirie 236
Figure 12-3 Cartographie des 219 sections de comptages intégrés au sein du modèle 237
Figure 12-4 Itinéraires ayant fait l'objet d'une vérification des temps de parcours (en rouge itinéraires calculés en 2018, et en jaune en 2020), avec leurs points de départ ou d'arrivée (points bleus) 238
Figure 12-5 Carte de comparaison entre les comptages et les résultats du modèle après le calage manuel 239
Figure 12-6 Graphique de résultat de comparaison des trafics entre les comptages et les résultats issus du modèle après le calage manuel 239
Figure 12-7 Carte de comparaison entre les comptages et les résultats du modèle après le calage automatique 240
Figure 12-8 Profil horaire moyen pour les VL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo 241
Figure 12-9 Profil horaire moyen pour les PL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo 241
Figure 12-10 Profil horaire moyen "tous véhicules" sur le réseau départemental à proximité du projet global Cigéo 241
Figure 12-11 Carte des interdictions PL mise en place au sein du modèle de trafic 243
Figure 14-1 Localisation des points de vue sur le territoire englobant le centre de stockage Cigéo 264
Figure 16-1 Les principaux écosystèmes présents dans les aires d'étude éloignée et immédiate autour du projet global Cigéo (source : Corine Land Cover 2018 et BD Topo IGN) 272
Figure 16-2 Représentation schématique de la notion de cumul d'incidence 274
Figure 16-3 Logigramme d'analyse des incidences cumulées des projets recensés avec le projet objet de l'étude d'impact 277

Figure Annexe 4-1 Hyétogramme instantanée « Keifer » obtenu à partir de la courbe Intensité-Durée-Fréquence associée 317

Tableaux

Tableau 1-1 Avancement des différentes opérations du projet global Cigéo 11
Tableau 1-2 Éléments d'appréciation du niveau d'incidence (grille indicative d'évaluation) 15
Tableau 1-3 Exemple de tableau de présentation d'une mesure ERC 16
Tableau 1-4 Exemple de tableau de synthèse des incidences potentielles du projet global Cigéo 16
Tableau 1-5 Exemple de tableau de synthèse de la démarche ERC 16
Tableau 1-6 Définition des aires d'étude du milieu physique (Atmosphère, Sol, Sous-sol et Eaux) 21
Tableau 1-7 Définition des aires de la biodiversité et du milieu naturel 22
Tableau 1-8 Définition des aires d'étude du milieu humain 23
Tableau 1-9 Définition des aires d'étude des activités agricoles et sylvicoles 26
Tableau 1-10 Définition des aires d'étude pour le paysage, le patrimoine culturel, le tourisme et les activités de loisirs 28
Tableau 1-11 Définition des aires d'étude pour les interactions 29
Tableau 2-1 Partenaires de l'Andra et réseaux impliqués par grande famille de paramètres atmosphériques 32
Tableau 2-2 Paramètres météorologiques mesurés à la station d'Houdelaincourt-Fréquences, prestataires et méthodes associées 36
Tableau 2-3 Classement de la capacité de séquestration carbone des écosystèmes de l'aire d'étude éloignée 37
Tableau 2-4 Méthode analytique utilisée pour la mesure des polluants SO_2, CO, NO_x, O_3 et $PM_{10}/PM_{2,5}$ 38
Tableau 2-5 Méthode analytique utilisée pour la mesure des métaux lourds (Pb, As, Ni, Cd) 38
Tableau 2-6 Campagnes « qualité de l'air » menées à proximité de la zone descenderie 39
Tableau 2-7 Valeurs de bruit de fond retenues 40
Tableau 2-8 Bilan des émissions conventionnelles en phase de construction initiale 42
Tableau 2-9 Bilan des émissions conventionnelles en phase de fonctionnement 42
Tableau 2-10 Éléments radioactifs naturels et artificiels recherchés dans l'aire d'étude du projet global Cigéo 43

Tableau 2-11 Méthodes de mesure des éléments radioactifs de l'état initial de l'environnement et matrices dans lesquelles ils sont recherchés 44
Tableau 2-12 Colis contribuant aux émissions gazeuses du centre de stockage Cigéo et activités associées 48
Tableau 2-13 Taux de relâchement en tritium, carbone 14 et krypton 85, des colis de déchets radioactifs 48
Tableau 2-14 Rejets radioactifs annuels maximaux de l'installation nucléaire de surface 48
Tableau 2-15 Rejets radioactifs annuels maximaux de l'installation souterraine 49
Tableau 2-16 Caractéristiques des émissaires des rejets atmosphériques radioactifs 49
Tableau 2-17 Valeurs des paramètres pris en compte pour la modélisation de la dispersion atmosphérique 49
Tableau 5-1 Stations de suivi de la piézométrie de la nappe des Calcaires du Barrois 64
Tableau 5-2 Stations de suivi de la piézométrie de la nappe de l'Oxfordien Calcaire 65
Tableau 5-3 Liste des laboratoires indépendants accrédités étant intervenus pour les prélèvements et les analyses d'eau souterraine 66
Tableau 5-4 Fréquence des observations par station de suivi 67
Tableau 5-5 Points de suivi des débits des cours d'eau (Eaufrance) 71
Tableau 5-6 Liste des prestataires indépendants intervenus pour les jaugeages 72
Tableau 5-7 Points de suivi « Andra » des débits des cours d'eau d'intervention (prévisionnelle en raison des assecs) 72
Tableau 5-8 Liste des laboratoires indépendants accrédités étant intervenus pour les prélèvements et les analyses d'eau 76
Tableau 5-9 Liste des sondes et paramètres mesurés dans le réseau de suivi continu de la qualité des eaux de surface de 2011 à 2017 78
Tableau 5-10 Bassin versant de La Marne - Fréquence de prélèvement réalisé par l'Andra (OPE) sur les stations suivies 79
Tableau 5-11 Bassin versant de La Saulx - Fréquence de prélèvement réalisé par l'Andra (OPE) sur les stations suivies 79
Tableau 5-12 Bassin versant de l'Ornain - Fréquence de prélèvement réalisé par Andra (OPE) sur les stations suivies 80
Tableau 5-13 Synthèse des perméabilités des formations géologiques à l'issue du calage 84
Tableau 5-14 Propriétés hydrauliques des éléments discrets simulant l'écoulement en fracture 85
Tableau 5-15 Série lithostratigraphique prise en compte dans le modèle hydrogéologique intégré région-secteur 89
Tableau 5-16 Décomposition stratigraphique prise en compte dans le modèle local 100
Tableau 5-17 Dates d'atteinte des horizons poreux (toit) par les puits d'accès (puits principal PPA et puits auxiliaires PAX) au Laboratoire souterrain 101
Tableau 5-18 Caractéristiques principales des captages visés pour l'alimentation en eau du centre de stockage Cigéo 103
Tableau 5-19 Bilan besoins ressources depuis les captages ou sources des SIAEP d'Échenay et de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt 104
Tableau 5-20 Capacité de production des captages d'eau potable de Gondrecourt-le-Château et besoins actuels et futures en eau potable 104
Tableau 5-21 Caractéristiques des données pluviographiques disponibles pour la définition des pluies de référence 107
Tableau 5-22 Formalisme de Montana 109
Tableau 5-23 Données d'entrée – Caractéristiques des coefficients de Montana 110
Tableau 5-24 Données d'entrée – Quantiles de hauteur d'eau 110
Tableau 5-25 Tableau d'aide à la décision pour le choix de la station de référence pour la pluie projet 111
Tableau 5-26 Coefficients de Montana – Cirfontaines 112
Tableau 5-27 Hyétogrammes instantanés – Cirfontaines-en-Ornois 113
Tableau 5-28 Pluies de projet – Station de Cirfontaines-en-Ornois 114
Tableau 5-29 Données d'entrée pour la réalisation de l'étude hydrologique pour le centre de stockage Cigéo 118
Tableau 5-30 Paramètres nécessaire au dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales pour le centre de stockage Cigéo 118
Tableau 5-31 Méthodologies et critères de dimensionnement utilisées pour le centre de stockage Cigéo 118
Tableau 5-32 Coefficients de Montana pour les Tr = 10 ans et Tr = 100 ans 119
Tableau 5-33 Formalismes hydrologiques GTAR 2006 utilisés pour le centre de stockage Cigéo 119
Tableau 5-34 Fiche hydrologique de la Bureau - Paramètres hydrologiques 119
Tableau 5-35 Fiche hydrologique de la Bureau – État du bassin versant 119
Tableau 5-36 Fiche hydrologique de la Bureau - Caractéristiques de l'écoulement principal 119
Tableau 5-37 Fiche hydrologique de la Bureau - Calcul des débits de pointe 120
Tableau 5-38 Fiche hydrologique de la Bureau - Débits de crue retenus et débits spécifiques 120
Tableau 5-39 Fiche hydrologique de l'Ormançon - Paramètres hydrologiques 120
Tableau 5-40 Fiche hydrologique de l'Ormançon – État du bassin versant 120
Tableau 5-41 Fiche hydrologique de l'Ormançon – Caractéristiques de l'écoulement principal 120
Tableau 5-42 Fiche hydrologique de l'Ormançon – Calcul des débits de pointe 120
Tableau 5-43 Fiche hydrologique de l'Ormançon – Débits de crue retenus et débits spécifiques 121
Tableau 5-44 Fiche hydrologique de l'Orge - Paramètres hydrologiques 121
Tableau 5-45 Fiche hydrologique de l'Orge – État du bassin versant 121
Tableau 5-46 Fiche hydrologique de l'Orge – Caractéristiques de l'écoulement principal 121
Tableau 5-47 Fiche hydrologique de l'Orge – Calcul des débits de pointe 122
Tableau 5-48 Fiche hydrologique de l'Orge – Débits de crue retenus et débits spécifiques 122
Tableau 5-49 Caractéristiques des ajustements réalisés pour la détermination d'un débit de pointe correspondant à une période de retour donnée 122
Tableau 5-50 Caractéristiques des ajustements réalisés pour la détermination d'un débit de pointe correspondant à une période de retour donnée 122
Tableau 5-51 Équation 1 - Formalisme de la méthode rationnelle 123
Tableau 5-52 Équation 2 - Formalisme de la méthode rationnelle 123
Tableau 5-53 Équation 1- Formalisme de la méthode de Crupédix 124
Tableau 5-54 Équation 2 - Formalisme de la méthode de Crupédix 124
Tableau 5-55 Équation 3- Formalisme de la méthode de Crupédix 124
Tableau 5-56 Détermination du coefficient régional b 124
Tableau 5-57 Formalismes hydrologiques GTAR 2006 utilisés 125
Tableau 5-58 Équation 1 : Formalisme de transition– formule mixte 125
Tableau 5-59 Ajustements fréquentiels effectuées à la station de Montiers-sur-Saulx – Détermination de $Q_{2.\ pointe.\ spécifique}$, $Q_{5.\ pointe.\ spécifique}$, et $Q_{10.\ pointe.\ spécifique}$ 126
Tableau 5-60 Caractéristiques des bassins versants susceptibles d'influencer le régime d'écoulement 127
Tableau 5-61 Types de pluie utilisés pour la conception et valeurs ajoutées 128
Tableau 5-62 Tableau des concentrations des eaux pluviales (hors eaux de ruissellement des verses) en entrée de filière de traitement (données issues de l'AESN, 2013) 129
Tableau 5-63 Tableau des concentrations des eaux de ruissellement des verses en entrée et en sortie de filière de traitement sur la zone puits 130
Tableau 5-64 Tableau des concentrations des eaux de fond en entrée et en sortie de filière de traitement 132
Tableau 5-65 Concentrations en pollution – Eaux usées domestiques 133
Tableau 5-66 Concentrations en pollution – eaux industrielles associées aux eaux de lavage 133
Tableau 5-67 Concentrations en pollution retenues pour les eaux industrielles à traiter 133
Tableau 5-68 Tableau des concentrations des eaux usées et industrielles de surface en entrée et en sortie de filière de traitement 133
Tableau 5-69 Volumes de boues estimés 135
Tableau 5-70 Normes de rejet applicables au site 136
Tableau 6-1 Efficacité des inventaires sur la période 2015-2020 selon le groupe faunistique ciblé pour le centre de stockage Cigéo 141
Tableau 6-2 Efficacité des inventaires réalisés sur l'année 2018 selon le groupe faunistique ciblé pour la ligne 027000 141
Tableau 6-3 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour la zone descenderie et opérations attenantes 143
Tableau 6-4 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour la zone puits 143
Tableau 6-5 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour l'ITE 144
Tableau 6-6 Efforts de prospections sur la période 2015-2020 pour la ligne 027000 144

Tableau 6-7 Choix des espèces cibles par sous-trame 172
Tableau 6-8 Choix des prélèvements de matrices biologiques terrestres pour le fond radiologique 173
Tableau 6-9 Analyses réalisées sur les matrices biologiques 173
Tableau 6-10 Documents de référence pour la définition du statut de rareté ou menace de la flore et la faune 175
Tableau 6-11 Grille d'analyse pour l'appréciation des enjeux de préservation des espèces 176
Tableau 6-12 Exemple de référentiel de niveau d'intérêt défini pour le cortège des oiseaux 179
Tableau 6-13 Grille d'aide à la qualification du niveau d'intérêt de chaque type d'habitat d'espèce 181
Tableau 6-14 Effets génériques de ce type de projet sur la faune et la flore 183
Tableau 6-15 Niveau d'incidence résiduelle et éléments d'appréciation 185
Tableau 6-16 Coefficients appliqués aux zones selon leur niveau d'intérêt des habitats d'espèces 192
Tableau 6-17 Sites Natura 2000 présents au sein de la zone d'influence du projet global Cigéo 202
Tableau 6-18 Synthèse par site des groupes (habitats et espèces) retenus pour l'évaluation détaillée 204
Tableau 7-1 Nombre de communes présentes sur les aires d'étude prises pour l'étude de la population, de l'emploi et des activités économiques 208
Tableau 7-2 Communes de l'aire d'étude immédiate 208
Tableau 7-3 Sous-thématiques analysées pour l'état initial de la population, par aire d'étude 209
Tableau 7-4 Sous-thématiques analysées pour l'état initial de l'emploi et des activités économiques, par aire d'étude 210
Tableau 7-5 Sous-thématiques analysées pour l'état initial de l'habitat, par aire d'étude 211
Tableau 8-1 Principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des incidences et du besoin de compensation 215
Tableau 8-2 Postes comptables retenus 216
Tableau 8-3 Base de réflexion pour l'établissement de critères d'éligibilité des projets collectifs de compensation économique agricole (projet global Cigéo) 218
Tableau 8-4 Principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des incidences et du besoin de compensation 219
Tableau 10-1 Ratios utilisés pour les estimations des déchets des bâtiments industriels 224
Tableau 10-2 Ratios utilisés pour les estimations des déchets des ouvrages nucléaires 225
Tableau 10-3 Biodéchets 225
Tableau 12-1 Recueil des données de comptages réalisés en 2020 par Alyce 233
Tableau 12-2 Typologie de voirie utilisée au sein du modèle 235
Tableau 12-3 Synthèse des ratios par type de réseau et par mode 240
Tableau 12-4 Équivalences énergétiques exprimées en tonnes d'équivalent pétrole (Tep) 244
Tableau 12-5 Consommations unitaires des véhicules routiers - Scénario avec mesures supplémentaires 244
Tableau 12-6 Composition du parc roulant – voitures particulières - Scénario avec mesures supplémentaires 244
Tableau 12-7 Composition du parc roulant – poids lourds - Scénario avec mesures supplémentaires 245
Tableau 12-8 Consommations unitaires des véhicules routiers - Scénario avec mesures existantes 245
Tableau 12-9 Composition du parc roulant – voitures particulières - Scénario avec mesures existantes 245
Tableau 12-10 Composition du parc roulant – poids lourds - Scénario avec mesures existantes 245
Tableau 12-11 Consommations unitaires des trains de fret, selon le scénario (AMS/AME) 245
Tableau 12-12 Coûts d'infrastructures hors taxe du volet « infrastructures de transports » du projet global Cigéo, en option de référence et en option de projet (en millions d'euros de 2018) 246
Tableau 12-13 Prix des carburants et de l'électricité hors toutes taxes (HTT), en euros de 2015 – Scénario avec mesures supplémentaires 247
Tableau 12-14 Montant des taxes sur les carburants et sur l'électricité, en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires 247
Tableau 12-15 TVA sur les prix des carburants et de l'électricité, en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires 247
Tableau 12-16 Prix des carburants et de l'électricité toutes taxes comprises (TTC), en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires 247
Tableau 12-17 Dépenses énergétiques HTT par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 - Scénario avec mesures supplémentaires 247
Tableau 12-18 Dépenses énergétiques TTC par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures supplémentaires 248
Tableau 12-19 Hypothèses de prix moyens d'entretien, de consommables et de dépréciation par km des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures supplémentaires 248
Tableau 12-20 Prix des carburants hors toutes taxes (HTT), en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes 248
Tableau 12-21 Montant des taxes sur les carburants, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes 248
Tableau 12-22 TVA sur les prix des carburants, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes 248
Tableau 12-23 Prix des carburants toutes taxes comprises (TTC), en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes 248
Tableau 12-24 Dépenses énergétiques HTT par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes 249
Tableau 12-25 Dépenses énergétiques TTC par kilomètre des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes 249
Tableau 12-26 Hypothèses de prix moyens d'entretien, de consommables et de dépréciation par km des véhicules routiers, en euros de 2015 – Scénario avec mesures existantes 249
Tableau 12-27 Facteurs d'émission des carburants en grammes d'équivalent CO_2 par kilomètre, hors effets amont – Scénario avec mesures supplémentaires 249
Tableau 12-28 Facteurs d'émission des carburants en grammes d'équivalent CO^2 par kilomètre, hors effets amont – Scénario avec mesures existantes 249
Tableau 12-29 Valeurs tutélaires utilisées dans le calcul de la rentabilité socioéconomique des infrastructures de transport du projet global Cigéo 250
Tableau 13-1 Type de convois et émissions unitaires estimées (bruit moyen émis par un convoi sur la période de jour (6 h-22 h)) 253
Tableau 13-2 Niveau sonore des chantiers 254
Tableau 13-3 Définitions des paramètres d'entrée pour l'équation de Chapot 255
Tableau 16-1 Typologie des écosystèmes naturels/artificiels présents sur l'aire d'étude éloignée 271
Tableau 16-2 Intitulé, définition et type de chacun des 24 services écosystémiques présents sur l'aire d'étude éloignée 272
Tableau 16-3 Principe de recensement en fonction des aires d'études du projet global Cigéo 275
Tableau 16-4 Aires de recensement et source de l'information 276
Tableau 17-1 Catégories d'activités de l'annexe I de la directive IED correspondant à des activités retenues pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD pour l'INB Cigéo 281
Tableau 17-2 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – Documents sectoriels entrant dans le champ de la directive IED 282
Tableau 17-3 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – BREFs horizontaux entrant dans le champ de la directive IED (265) et mentionnés dans les conclusions sur les MTD pour le traitement des déchets 283
Tableau 17-4 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – BREFs horizontaux entrant dans le champ de la directive IED non mentionnés dans les conclusions sur les MTD pour le traitement des déchets 284
Tableau 17-5 Justification du choix des documents de référence retenus pour l'analyse de la mise en œuvre des MTD – Documents hors champ de la directive IED 284

Tableau Annexe 1-1 Critères nationaux d'évaluation de la qualité de l'air 288

Tableau Annexe 1-2 Seuils réglementaires en vigueur pour la mise en œuvre des procédures d'information et d'alerte 289
Tableau Annexe 2-1 Caractéristiques des rejets canalisés en phase CI 290
Tableau Annexe 2-2 Caractéristiques des sources linéiques en phase CI – en T/an 291
Tableau Annexe 2-3 Caractéristiques des sources surfaciques en phase CI – en T/an 291
Tableau Annexe 2-4 Bilan des émissions en polluants atmosphériques sur le domaine d'étude en phase CI 291
Tableau Annexe 2-5 Bilan des émissions en polluants atmosphériques engendrées par la liaison intersites en phase CI – en T/an 291
Tableau Annexe 2-6 Caractéristiques des rejets canalisés en phase F 292
Tableau Annexe 2-7 Caractéristiques des sources linéiques en phase F – en T/an 293
Tableau Annexe 2-8 Caractéristiques des sources surfaciques en phase F – en T/an 293
Tableau Annexe 2-9 Bilan des émissions en polluants atmosphériques sur le domaine d'étude en phase F 293
Tableau Annexe 2-10 Bilan des émissions en polluants atmosphériques engendrées par la liaison intersites en phase F – en T/an 293
Tableau Annexe 3-1 Résultats – Tableaux des coefficients de Montana 294
Tableau Annexe 3-2 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 2 ans 296
Tableau Annexe 3-3 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 10 ans 297
Tableau Annexe 3-4 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 100 ans 298
Tableau Annexe 3-5 Présentation et comparaison des valeurs pluviométriques médianes de cumul de hauteur de pluie 299
Tableau Annexe 3-6 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Cirfontaines-en-Ornois 301
Tableau Annexe 3-7 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Cirfontaines-en-Ornois 302
Tableau Annexe 3-8 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Saint-Dizier 302
Tableau Annexe 3-9 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Saint-Dizier 303
Tableau Annexe 3-10 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Cirfontaines-en-Ornois 303
Tableau Annexe 3-11 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Cirfontaines-en-Ornois 304
Tableau Annexe 3-12 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Saint-Dizier 304
Tableau Annexe 3-13 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Saint-Dizier 305
Tableau Annexe 3-14 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Cirfontaines-en-Ornois 305
Tableau Annexe 3-15 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne Sup. de l'IC – Station de Cirfontaines-en-Ornois 306
Tableau Annexe 3-16 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données médianes – Station de Saint-Dizier 306
Tableau Annexe 3-17 Commentaires - Ajustements moyens et majorants de Montana sur données 95 % borne, Sup , de l'IC – Station de Saint-Dizier 307
Tableau Annexe 3-18 Résultats du dimensionnement du bassin écrêteur 307
Tableau Annexe 3-19 Synthèse des résultats du dimensionnement du bassin écrêteur 308
Tableau Annexe 4-1 Formalisme de la pluie de projet double-triangulaire 309
Tableau Annexe 4-2 Illustration d'une pluie de projet double-triangulaire et de ses paramètres dimensionnants 310
Tableau Annexe 4-3 Pluies de projet – Station de Saint-Dizier 311
Tableau Annexe 4-4 Pluies de projet – Station de Cirfontaines-en-Ornois 313
Tableau Annexe 4-5 Données tabulées – Hyétogrammes théoriques – Station de Saint-Dizier 316
Tableau Annexe 4-6 Données tabulées – Hyétogrammes théoriques – Station de Cirfontaines-en-Ornois 316
Tableau Annexe 4-7 Formalisme de la pluie Keifer avancée 317
Tableau Annexe 4-8 Le formalisme de cette pluie de projet Keifer générale 318
Tableau Annexe4-9 Saisir la légende du tableau 318
Tableau Annexe 4-10 Valeurs tabulées des hyétogrammes discrétisés « Keifer » 319
Tableau Annexe 5-1 Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimique généraux pour les cours d'eau 320
Tableau Annexe 5-2 Synthèse des polluants caractérisant l'état chimique des cours d'eau 321
Tableau Annexe 5-3 Synthèse des polluants caractérisant l'état écologique des cours d'eau 324
Tableau Annexe 6-1 Paramètres et polluants pour la définition de l'état de la masse d'eau souterraine 325
Tableau Annexe 7-1 Prospections le long de la ligne HT (2018/2019-2021) 326
Tableau Annexe 7-2 Périodes de prospection pour les raccordements électriques en 2016-2017 (poste et fuseau 5S) 326
Tableau Annexe 7-3 Prospections de terrain pour le centre de stockage Cigéo (2016-2020) 326
Tableau Annexe 7-4 Prospections de terrain pour la ligne ferroviaire 027000 (2018-2019) 336
Tableau Annexe 7-5 Calendrier des sondages pédologiques pour identification des zones humides 337
Tableau Annexe 8-1 Cortèges des insectes 343
Tableau Annexe 8-2 Cortèges des amphibiens 343
Tableau Annexe 8-3 Cortèges des reptiles 343
Tableau Annexe 8-4 Cortèges des oiseaux 344
Tableau Annexe 8-5 Cortèges des mammifères (hors chiroptères) 344
Tableau Annexe 8-6 Cortèges des chiroptères 344
Tableau Annexe 8-7 Matrice du cortège des insectes de prairies humides 345
Tableau Annexe 8-8 Matrice du cortège des insectes de ripisylves, bords de cours d'eau/ru 346
Tableau Annexe 8-9 Matrice du cortège des insectes des boisements clairs à tendance humide 347
Tableau Annexe 8-10 Matrice du cortège des insectes des milieux prairiaux 348
Tableau Annexe 8-11 Matrice du cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec mares/étangs (reproduction) 349
Tableau Annexe 8-12 Matrice du cortège des amphibiens des habitats forestiers (hivernage) avec ornières (reproduction) 351
Tableau Annexe 8-13 Matrice du cortège des amphibiens des prairies humides 352
Tableau Annexe 8-14 Matrice du cortège des amphibiens de bocage (prairies et structures ligneuses) 353
Tableau Annexe 8-15 Matrice du cortège des amphibiens des milieux anthropiques de villages (mares, lavoirs, jardins) 354
Tableau Annexe 8-16 Matrice du cortège des reptiles des milieux forestiers 356
Tableau Annexe 8-17 Matrice du cortège des reptiles des milieux bocagers 357
Tableau Annexe 8-18 Matrice du cortège des reptiles des milieux aquatiques 358
Tableau Annexe 8-19 Matrice du cortège des oiseaux nichant au sol dans les parcelles agricoles 359
Tableau Annexe 8-20 Matrice du cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert (structure prairies/pelouses/haies/agricoles) 361
Tableau Annexe 8-21 Matrice du cortège des oiseaux des milieux forestiers âgés 362
Tableau Annexe 8-22 Matrice du cortège des oiseaux de lisières, forestiers jeunes ou ouverts, fourrés 363

Tableau Annexe 8-23 Matrice du cortège des oiseaux des milieux aquatiques, bordés ou non de ripisylves, fourrés 364
Tableau Annexe 8-24 Matrice du cortège des oiseaux des milieux pionniers à tendance humides 366
Tableau Annexe 8-25 Matrice du cortège des mammifères des milieux forestiers 367
Tableau Annexe 8-26 Matrice du cortège des mammifères des milieux bocagers/lisières 368
Tableau Annexe 8-27 Matrice du cortège des mammifères des milieux humides/aquatiques 369
Tableau Annexe 8-28 Matrice du cortège des chiroptères des milieux forestiers (humides ou non) en chasse 370
Tableau Annexe 8-29 Matrice du cortège des chiroptères de lisières/bocage en chasse et en transit 372
Tableau Annexe 8-30 Matrice du cortège des chiroptères de vallées/cours d'eau en chasse et en transit 373
Tableau Annexe 8-31 Matrice du cortège des chiroptères ubiquistes et anthrophiles 374
Tableau Annexe 9-1 Valeurs limites de niveaux sonores maximales fixées par la réglementation en limite de propriété 376
Tableau Annexe 9-2 Valeurs limites d'émergence en ZER 377
Tableau Annexe 9-3 Niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure ferroviaire nouvelle 378
Tableau Annexe 9-4 Valeurs limites à respecter pour l'opération RTE 379
Tableau Annexe 9-5 Termes correctifs applicables en fonction de la durée cumulée d'apparition du brui 379
Tableau Annexe 9-6 Niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure routière nouvelle 380
Tableau Annexe 9-7 Valeurs réglementaires à respecter relatives aux observatoires du bruit des transports terrestres et à la résorption des PNB 381
Tableau Annexe 9-8 Niveaux d'isolement acoustique à atteindre lors du renforcement de l'isolation acoustique des façades 382
Tableau Annexe 10-1 Choix des points de vue et justification de ceux utilisés pour illustrer les impacts du projet sur le paysage sur la base de photomontages 384

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Décret n°2022-993 du 7 juillet 2022 déclarant d'utilité publique le centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue Cigéo et portant mise en compatibilité du schéma de cohérence territoriale du Pays Barrois (Meuse), du plan local d'urbanisme intercommunal de la Haute-Saulx (Meuse) et du plan local d'urbanisme de Gondrecourt-le-Château (Meuse). Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française. Vol. 13, N°0157.

2 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 8 - Étude de maîtrise des risques. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-ERQ-AMOA-SR0-0000-19-0037.

3 Arrêté n°2020-2664 du 18 décembre 2020 portant déclaration d'utilité publique les travaux de dérivation des eaux souterraines des sources Mourot de la Côte Géminel exploitées par la Communauté d'Agglomération Bar-Le-Duc Sud Meuse à titre de régularisation et l'instauration des périmètres de protection de ces points d'eau. Préfecture de la Meuse (2020).

4 Schéma de cohérence territoriale (SCoT) Nord Haute-Marne. Syndicat Mixte Nord Haute-Marne (2020). Consulté le 29/06/2020. Disponible à l'adresse : http://scot-nordhautemarne.fr/telechargement/.

5 Schéma de cohérence territoriale du Pays Barrois : dossier SCoT approuvé. Pays Barrois (2014). 541 p. Disponible à l'adresse : http://www.paysbarrois.com/les-missions-du-pays-barrois/schema-de-coherence-territoriale-scot/les-documents-du-scot.

6 Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) - Rapport - Parties 1 Diagnostic territorial, 2 Stratégie, 3 Cartes et fascicule. Grand Est Territoires (2019). Disponible à l'adresse : https://www.grandest.fr/grandestterritoires/.

7 Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (2006).

8 Type de station et disponibilité des données. Publithèque Météo France (2016). Consulté le 03/06/2021. Disponible à l'adresse : http://publitheque.meteo.fr/aide/publitheque/reseauPostes/aideTypePoste.html.

9 Dossier départemental des risques majeurs (DDRM). Direction départementale des territoires Haute-Marne (2017). 108 p. Disponible à l'adresse : https://www.lozere.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-Risques-naturels-et-technologiques/Risques-naturels/L-information-preventive-Le-role-du-prefet-DDRM-du-maire-DICRIM-du-citoyen/Le-role-du-Prefet-DDRM/le-Dossier-Departemental-des-Risques-Majeurs-2017.

10 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.

11 Chiffres clés 2018 : Consommations et productions d'énergie, émissions de GES et de polluants, vulnérabilité (Région Grand Est). ATMO Grand Est (2020). N°ACC-EN-251. 72 p. Disponible à l'adresse : http://www.atmo-grandest.eu/sites/prod/files/2020-10/Observatoire%20chiffres%20cl%C3%A9s%202018%20%C3%A9dition%202020.pdf.

12 Chiffres clés 2018 - Consommations et productions d'énergie, émissions de GES et de polluants, vulnérabilité (PETR Du Pays Barrois). ATMO Grand Est (2020). 64 p. Disponible à l'adresse : https://observatoire.atmo-grandest.eu/wp-content/uploads/publications/Chiffres_clés_Ed2020_PETR%20du%20Pays%20Barrois.pdf.

13 Bilan année 2019 - Panorama des énergies renouvelables et de la récupération en région Grand Est. DREAL Grand Est (2020). 52 p. Disponible à l'adresse : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2020-panorama_enr-impf.pdf.

14 EFESE, Commissariat général au développement durable. La séquestration de carbone par les écosystèmes en France. La Documentation Française (2019). Théma Analyse. ISBN : 978-2-11-145968-7.

15 L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique pour les sols (2011). 188 p. Disponible à l'adresse : http://147.100.179.105/gissol/rapports/Rapport_HD.pdf.

16 Référentiel régional pédologique pour le Grand Est. Chambre d'agriculture Grand-Est (2016). Consulté le 14/09/2022. Disponible à l'adresse : https://grandest.nosterritoires.fr/adws/app/f5dbb9ff-4e09-11e8-b0c4-312c65e710a1/.

17 Référentiel régional pédologique du département de Haute-Marne. INRAE (2013). Consulté le 14/09/2022. Disponible à l'adresse : https://agroenvgeo.data.inra.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/9901980c-dfcf-5471-b335-20b2fcee1b30.

18 Référentiel régional pédologique du département de la Marne. INRAE (2017). Consulté le 14/09/2022. Disponible à l'adresse : https://agroenvgeo.data.inra.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/37a3d287-ec4f-5416-9c04-4df6ae5def40.

19 Corine Land Cover. Ministère de la Transition écologique et Solidaire; Ministère de la Cohésion des territoires (2018). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0.

20 Loi n°2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets. Assemblée nationale; Sénat (2021). Journal officiel de la République française. Vol. 1, N°0196.

21 Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2020). Consulté le 23/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc.

22 Bilan qualité de l'air Grand Est 2020. ATMO Grand Est (2020). 46 p. Disponible à l'adresse : http://www.atmo-grandest.eu/document/2628.

23 Dossier de validation du logiciel ARIA Impact. ARIA Technologies (2009). N°ARIA/2007/105. 29 p.

24 ARIA Impact : Note de principe et notice d'utilisation (version 1.8). ARIA Technologies (2013). 224 p.

25 Boudet, C. Évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des installations classées - Substances chimiques. Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) (2004). N°PU-2004-240. 111 p.

26 Directive n°98/70/CE du 13/10/98 concernant la qualité de l'essence et les carburants diesel et modifiant la directive 93/12/CEE du Conseil (1998). Journal officiel des Communautés européennes, N°L 350, pp.58–68.

27 Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017 : rapport de mission 2018. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2018). N°DG/2018-00006. 354 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2015-2017.pdf.

28 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement-Eau - Partie 1 : mesurage de l'activité des émetteurs Beta par scintillation liquide - Cas particulier du tritium. AFNOR (2000), NF M60-802-1.

29 Qualité de l'eau - Détermination de l'activité volumique du tritium - Méthode par comptage des scintillations en milieu liquide. AFNOR (2015), NF EN ISO 9698.

30 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Partie 1 : guide du mesurage de l'activité volumique de l'air en C14 à partir d'un prélèvement atmosphérique. AFNOR (2006), NF M60-812-1.

31 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Partie 2 : mesurage de l'activité du carbone 14 par scintillation liquide dans les matrices carbonées de l'environnement. AFNOR (2006), NF M60-812-2.

32 Qualité de l'eau - Détermination de l'activité volumique du carbone 14 - Méthode par comptage des scintillations en milieu liquide. AFNOR (2015), NF EN ISO 13162.

33 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement-Sol - Partie 6 : méthode pour la mesure de l'activité des émetteurs gamma dans les échantillons de sol. AFNOR (1999), NF M60-790-6.

34 Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Sol - Partie 3 : Méthode d'essai des radionucléides émetteurs gamma par spectrométrie gamma. AFNOR (2018), NF EN ISO 18589-3.

35 Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. International Atomic Energy Agency (IAEA) (1989). N°295. 182 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs295_web.pdf.

36 Qualité de l'eau - Détermination de l'activité volumique des radionucléides - Méthode par spectrométrie gamma à haute résolution. AFNOR (2016), NF EN ISO 10703.

37 Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 1 : lignes directrices générales. AFNOR (2007), NF EN ISO 17294-1.

38 Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage des éléments sélectionnés y compris les isotopes d'uranium. AFNOR (2016), NF EN ISO 17294-2.

39 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement-Sol - Partie 8 : méthodes de mesure des isotopes du plutonium (plutonium 238 et plutonium 239 plus 240) dans les échantillons de sol. AFNOR (1999), NF M60-790-8.

40 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement-Sol - Partie 7 : méthodes de mesure du strontium 90 dans les échantillons de sol. AFNOR (1999), NF M60-790-7.

41 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Sol - Partie 5 : méthode de mesure de l'indice de radioactivité alpha globale en équivalent 239 Pu et de l'indice de radioactivité bêta globale en équivalent 90 Sr et 90 Y à l'équilibre dans des échantillons de sol. AFNOR (1999), NF M60-790-5.

42 Énergie nucléaire - Mesure de l'indice de radioactivité dans l'environnement - Eau - Mesurage de l'indice de radioactivité bêta global en équivalent strontium 90 et yttrium 90 dans l'eau peu chargée en sels. AFNOR (2004), NF M60-800.

43 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Eau - Mesurage de l'indice de radioactivité alpha en équivalent plutonium 239 dans l'eau peu chargée en sels. AFNOR (2004), NF M60-801.

44 Qualité de l'eau - Activités alpha globale et bêta globale : méthode d'essai par dépôt d'une source fine. AFNOR (2019), NF EN ISO 10704.

45 Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Sol - Partie 5 : mesurage du strontium 90. AFNOR (2009), NF ISO 18589-5.

46 Monfort, M. Comparaison des codes de calcul de dispersion atmosphérique en fonctionnement normal GASCON et COTRAM. Commissariat à l'énergie atomique (CEA) (2011). N°SIM CEACI RBC DET 110000104 A. 19 p.

47 Monfort, M., Duchenne, C. Description des modèles du code GASCON de la plate-forme CERES destiné à l'évaluation de la dispersion atmosphérique et des conséquences sur l'homme et l'environnement de radionucléides émis en fonctionnement normal. Commissariat à l'énergie atomique (CEA) (2011). N°SIM SCGCI RBC NT 11000608 A. 48 p.

48 Diffusion estimation of small emissions. Preliminary report. National Oceanic and Atmospheric Administration (1973). N°TID-28289. 62 p. Disponible à l'adresse : https://www.osti.gov/servlets/purl/5118833.

49 Pasquill, F. Atmospheric Diffusion - The dispersion of windborne material from industrial and other sources. Ellis Horwood (1974). ISBN : 9780853120155.

50 Turner, D.-B. A diffusion model for an urban area. Journal of Applied Meteorology (1964). Vol. 3, N°1, pp.83–91.

51 International Atomic Energy Agency (IAEA). Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2001). N°19. 217 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1103_scr.pdf.

52 Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA 006) - Omega 12 - Dispersion atmosphérique (Mécanismes et outils de calcul). Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) (2002). N°INERIS DRA 2002 25427. 64 p. Disponible à l'adresse : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/46web.pdf.

53 Belot, Y., Roy, M., Métivier, H. Le tritium : de l'environnement à l'homme. Les éditions de Physique (1996). ISBN : 2-86883-275-X.

54 Missions d'ingénierie géotechnique - Classification et spécifications. AFNOR (30/11/2013), NF P 94-500.

55 Circulaire n° DGS/EA4/2007/232 du 13 juin 2007 relative au contrôle et à la gestion du risque sanitaire liés à la présence de radionucléides dans les eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux conditionnées et des eaux minérales naturelles. Autorité de sûreté nucléaire (ASN); Ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports (2007).

56 Le socle de connaissances scientifiques et techniques de Cigéo - Les référentiels de connaissances. Tome II du référentiel de site - Bilan des observations de l'OPE sur l'état de l'environnement de surface. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-ESE-0000-20-0018.

57 Loi n°2004-338 du 21 avril 2004 portant transposition de la directive 2000/60/ CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (2004). Journal officiel de la République française, N°95.

58 Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (2000). Journal officiel des Communautés européennes, N°L327.

59 Décision du conseil n° 2455/2001/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 novembre 2001 établissant la liste des substances prioritaires dans le domaine de l'eau et modifiant la directive 2000/60/CE. Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2001). Journal officiel des Communautés européennes, N°L331.

60 Directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE. Conseil de l'Union européenne (2008). Journal officiel de l'Union européenne, N°L348, pp.84–97.

61 SDAGE 2022-2027 - Schéma directeur d'aménagement de gestion des eaux du bassin Rhin-Meuse : objectif de qualité et de quantité des eaux, Tome 2. Comité de bassin Rhin et Meuse; Préfecture de la région Grand Est (2022). 456 p. Disponible à l'adresse : https://cdi.eau-rhin-meuse.fr/GEIDEFile/Tome_2_Objectifs_VF.pdf?Archive=250859107803&File=Tome%5F2%5Fobjectifs%5FVF%5Fpdf.

62 Schéma directeur d'aménagement de gestion des eaux (SDAGE) 2022-2027 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. Eau Seine Normandie; Préfecture de la région d'Ile-de-France (2022). 180 p. Disponible à l'adresse : https://fr.calameo.com/agence-de-l-eau-seine-normandie/read/004001913e70f7f2c707c.

63 Directive 2014/80/UE de la Commission du 20 juin 2014 modifiant l'annexe II de la directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE. Commission Européenne (2014). Journal officiel de l'Union européenne, N°L182, pp.52–5.

64 Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines. Version consolidée (2016).

65 Guide technique d'évaluation de l'état des eaux souterraines. Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2019). 72 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/guide_d_evaluation_etat_des_eaux_souterraines.pdf.

66 Qualité de l'eau. Échantillonnage. Partie 3 : Lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau. AFNOR, ISO (13/06/18), NF EN ISO 5667-3.

67 Qualité de l'eau - Guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement - Partie 3 : prélèvement d'eau souterraine. AFNOR (2009), FD T90-523-3.

68 Qualité du sol - Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions - Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage. AFNOR (2000), FD X31-615.

69 Qualité de l'eau - Protocole d'évaluation initiale des performances d'une méthode dans un laboratoire. AFNOR (2018), NF T90-210.

70 Circulaire du 23 octobre 2012 relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2012). Bulletin officiel du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, N°2012/21.

71 Qualité de l'eau - Activités alpha globale et bêta globale : méthode d'essai par dépôt d'une source fine. ISO (2019), ISO 10704.

72 Instruction du Gouvernement du 3 juin 2015 relative à la cartographie et l'identification des cours d'eau et à leur entretien. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2015).

73 Décision n°395021 de la 6ème - 1ère chambres réunies, lecture du mercredi 22 février 2017. Conseil d'État (2017).

74 Directive 2007/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation. Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2007). Journal officiel de l'Union européenne, N°L288, pp.27–34.

75 Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (2010). Journal officiel de la République française.

76 Décret n°2011-227 du 2 mars 2011 relatif à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation. Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2011). Journal officiel de la République française.

77 Ditche, J.M., Blanchard, C. Réseau hydrobiologique et piscicole - Bassin Seine Normandie : Synthèse des données 1995-2004. Onema (2009).

78 Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (2010). Journal officiel de la République française, N°46, pp.3429.

79 Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (version consolidée). Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2015). Journal officiel de la République française.

80 Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 (2018). Journal officiel de la République française.

81 Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau). Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2016). 106 p. Disponible à l'adresse : https://www.eaufrance.fr/sites/default/files/2018-07/Guide_REEE-ESC_mise_a_jour_2016.pdf.

82 État des lieux 2019 du Bassin de la Seine et des cours d'eaux côtiers normands. Eau Seine Normandie (2020). 200 p. Disponible à l'adresse : https://www.eau-seine-normandie.fr/sites/public_file/inline-files/AESN_Classeur.pdf.

83 Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 6 : lignes directrices pour l'échantillonnage des rivières et des cours d'eau. AFNOR, ISO (2016), NF EN ISO 5667-6.

84 Qualité de l'eau - Guide d'échantillonnage pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement - Partie 1 : échantillonnage d'eau en rivières et canaux. AFNOR (2019), FD T90-523-1.

85 Le prélèvement d'échantillons en rivière : Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques. Agence de l'eau Loire-Bretagne (2006). Guide technique.

86 Qualité de l'eau - Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes. AFNOR (2016), NF T90-333.

87 Qualité de l'eau - Guide d'application de la norme expérimentale XP T90-388 (Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau). AFNOR (2015), GA T90-788.

88 Circulaire DCE n° 2007/22 du 11 avril 2007 relative au protocole de prélèvement et de traitement des échantillons des invertébrés pour la mise en œuvre du programme de surveillance sur cours d'eau (2007). Bulletin officiel du Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables. Vol. 2007/12.

89 Qualité de l'eau - Guide d'application de la norme NF T 90-333:2016 (Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes). AFNOR (2017), FD T90-733.

90 Qualité de l'eau - Guide d'application de la norme expérimentale XP T90-333:2009 (prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes). AFNOR (2012), GA T90-733.

91 Guide technique d'accréditation - Analyses biologiques des milieux aquatiques : Révision 00. COFRAC (2018). N°LAB GTA 41. 15 p. Disponible à l'adresse : https://tools.cofrac.fr/documentation/LAB-GTA-41.

92 Qualité de l'eau - Échantillonnage, traitement et analyse de diatomées benthiques en cours d'eau et canaux. AFNOR (2016), NF T 90 354.

93 Qualité de l'eau - Guide pour l'identification et le dénombrement des échantillons de diatomées benthiques de rivières et de lacs. AFNOR (2014), NF EN 14407.

94 Qualité de l'eau - Guide pour l'échantillonnage en routine et le prétraitement des diatomées benthiques de rivières et de plans d'eau. AFNOR (2014), NF EN 13946.

95 Décret n°58-873 du 16 septembre 1958 déterminant le classement des cours d'eau en deux catégories (version consolidée). Ministère de l'Agriculture (1985).

96 Arrêté du 4 décembre 2012 établissant la liste des cours d'eau mentionnée au 1° du I de l'article L. 214-17 du code de l'environnement sur le bassin Seine-Normandie. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2012). Journal officiel de la République française.

97 Étude de restructuration du SIAEP de la région d'Échenay pour une alimentation depuis les sources de Thonnance (rapport d'étude, version définitive). Andra (2018). Document N°CMHM/IT-CA-20-0036.

98 Forage d'alimentation en eau potable de Gondrecourt-le-Château : assistance à maîtrise d'ouvrage pour le suivi hydrogéologique des essais de pompage - Rapport d'interprétation des essais. Andra (2018). Document N°CMHM/IT-CA-18-0089.

99 Fradet, P. Procédure de définition des périmètres de protection des captages AEP d'Échenay - Révision - Source "Massonfosse" / BSS n° 0265-7X-0007/AEP Forage "1977" / BSS n° 0265-7X-0030/F2. Département de la Haute-Marne; Commune d'Échenay (2016). N°16-52-HPP-510.

100 Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes - Guide n°13. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013). 44 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/100753/733560/version/1/file/Guide-de-l-ASN-13.pdf.

101 Meylan, P., Favre, A.C., Musy, A., Bobée, B. Hydrologie fréquentielle : une science prédictive. Presses polytechniques et universitaires romandes (2008). Science et ingénierie de l'environnement. ISBN : 9782880747978.

102 Assainissement routier. Cerema (ex-SETRA) (2006). Les outils. ISBN : 2-11-094629-6.

103 Scholtus, N., Leclerc, E., Donato, P. de, Morel, J.L., Simonnot, M.O. Eluto-frontal chromatography to simulate chemical weathering of COx by low-molecular-weight organic compounds and early pedogenesis processes. European Journal of Soil Science (2009). Vol. 60, N°1, pp.71–83.

104 Marty, N., Lach, A., Lerouge, C., Grangeon, S., Claret, F., Fauchet, C., Madé, B., Lundy, M., Lagroix, F., Tournassat, C., Tremosa, J. Weathering of an argillaceous rock in the presence of atmospheric conditions: a flow-through experiment and modelling study. Applied geochemistry (2018). Vol. 96, pp.252–63.

105 Tremosa, J., Debure, M., Narayanasamy, S., Redon, P.O., Jacques, D., Claret, F., Robinet, J.-C. Shale weathering: A lysimeter and modelling study for flow, transport, gas diffusion and reactivity assessment in the critical zone. Journal of hydrology (2020). Vol. 587, pp.124925.

106 Dimensionnement de stations d'épuration : préconisations du SATESE. Département de Seine-et-Marne; Satese (2019). Disponible à l'adresse : https://www.ensemble77.fr/images/outils/DD/eau/Fiche_satese_dimentionnement_stations_epuration_2019.pdf.

107 Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (2018).

108 Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau : rapport de présentation SEQ-Eau (version 2). Agence de l'eau; Ministère de l'Écologie et du Développement durable (2003). 106 p. Disponible à l'adresse : http://oaidoc.eau-loire-bretagne.fr/exl-doc/IIB1346.pdf.

109 Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique. Version consolidée. Ministère de la Santé et des Solidarités (2017).

110 Qualité de l'eau - Dosage de 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'eau par HPLC avec détection par fluorescence après extraction liquide-liquide. AFNOR (2004), NF EN ISO 17993.

111 Consultation des données flore Grand Est. Conservatoire botanique d'Alsace (2021). Consulté le 01/08/2021. Disponible à l'adresse : http://www.conservatoire-botanique-alsace.fr/connaissance-de-la-flore-et-des-habitats/consultation-donnees-flore/.

112 Délégation Champagne-Ardenne. Conservatoire botanique national du Bassin parisien (CBNBP) (2021). Consulté le 02/08/2021. Disponible à l'adresse : https://cbnbp.mnhn.fr/cbnbp/delegation/champagne.jsp.

113 Schwaab, F., Knochel, A. Connaître et protéger les chauves-souris de Lorraine. CPEPESC Lorraine (2009). ISBN : 978-2953300604.

114 Carnino, N. État de conservation des habitats d'intérêt communautaire à l'échelle du site – Méthode d'évaluation des habitats forestiers. Museum national d'histoire naturelle; Office national des forêts (2009). 76 p. Disponible à l'adresse : https://www.tela-botanica.org/wp-content/uploads/2017/03/etatdeconservationhabitatsinteretcommunautaire_Carnino_2009_methode_EC_hab_foret.pdf.

115 Catalogue de la flore vasculaire de Champagne-Ardenne. Conservatoire botanique national du Bassin parisien (CBNBP) (2016). 19 p. Disponible à l'adresse : http://cbnbp.mnhn.fr/cbnbp/ressources/catalogues/Notice%20du%20catalogue%20de%20la%20flore%20vasculaire%20de%20Champagne-Ardenne%202016%20_Taxref%207.pdf.

116 Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages. Conseil des communautés européennes (1992). Journal officiel des Communautés européennes. Vol. L206, pp.7–50.

117 Directive 2006/105/CE du Conseil du 20 novembre 2006 portant adaptation des directives 73/239/CEE, 74/557/CEE et 2002/83/CE dans le domaine de l'environnement, en raison de l'adhésion de la Bulgarie et de la Roumanie (2006). Journal officiel de l'Union européenne, N°L 363.

118 Arrêté du 20 janvier 1982 fixant la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire national. Ministère de l'Environnement (2013). Journal officiel de la République française.

119 Arrêté du 3 janvier 1994 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Lorraine complétant la liste nationale. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche; Ministère de l'Environnement (1994).

120 Arrêté du 8 février 1988 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Champagne-Ardenne complétant la liste nationale (1988). Journal officiel de la République française.

121 Listes rouges régionales. DREAL Grand Est; Préfecture de la région Grand Est (2019). Consulté le 16/06/2020. Disponible à l'adresse : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/listes-rouges-regionales-a18396.html.

122 Liste rouge régionale de la flore vasculaire de Lorraine - Évaluation du risque de disparition selon la méthodologie et la démarche de l'UICN. Conservatoire botanique national du Nord-Est (2015). 16 p. Disponible à l'adresse : http://www.polelorrain-cbnne.fr/download.php?f=cHVibGljYXRpb25z-bGlzdGVyb3VnZV9mbG9yZXZhc2N1bGFpcmVfbG9ycmFpbmUucGRm.

123 Liste des espèces déterminantes de Lorraine. CSRPN Lorraine; DREAL Grand Est (2015).

124 Wegnez, J. Liste hiérarchisée des plantes exotiques envahissantes (PEE) d'Île-de-France. CBNBP délégation Ile-de-France (2018). 45 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecophyto-pro.fr/data/cbnbp_pee_idf_2018_1_compressed.pdf.

125 Circulaire du 21 janvier 2009 relative aux frayères et aux zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire; Ministère du Logement (2009). Journal officiel de la République française.

126 Loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau. Assemblée nationale; Sénat (1992). Journal officiel de la République française. Vol. 3, pp.187–95.

127 Loi n°2019-773 du 24 juillet 2019 portant création de l'Office français de la biodiversité et de la chasse, modifiant les missions des fédérations des chasseurs et renforçant la police de l'environnement (2019). Journal officiel de la République française.

128 Arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement (2009). Journal officiel de la République française.

129 Circulaire du 18 janvier 2010 relative à la délimitation des zones humides en application des articles L.214-7-1 et R.211-108 du code de l'environnement. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat; Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (2010). Bulletin officiel du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, N°2010/2.

130 Arrêté du 1er octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (2009). Journal officiel de la République française. Vol. 2, N°0272.

131 Bensettiti, F., Rameau, J.-C., Chevallier, H. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire - Tome 1 : Habitats forestiers. La Documentation Française (2001). Cahiers d'habitats Natura 2000. Vol. 1 et 2.

132 Bensettiti, F., Gaudillat, V., Haury, J.K. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire - Tome 3 : Habitats humides. La Documentation Française (2002). Cahiers d'habitats Natura 2000.

133 Bensettiti, F., Gaudillat, V., Malengreau, D., Quéré, E. "Cahiers d'habitats" Natura 2000 - Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire - Tome 6 - Espèces végétales. La Documentation Française (2002).

134 Bensettiti, F., Gaudillat, V. "Cahiers d'habitats" Natura 2000 - Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire - Tome 7 - Espèces animales. La Documentation Française (2002).

135 Bensettiti, F., Herard-Logereau, K., van Es, J., Balmain, C. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire - Tome 5 : Habitats rocheux. La Documentation Française (2004). Cahiers d'habitats Natura 2000.

136 Bensettiti, F., Bioret, F., Roland, J., Lacoste, J.-P. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire - Tome 2 : Habitats côtiers. La Documentation Française (2004). Cahiers d'habitats Natura 2000.

137 Bensettiti, F., Boullet, V., Chavaudret-Laborie, C., Deniaud, J. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire - Tome 4 : Habitats agropastoraux. La Documentation Française (2005). Cahiers d'habitats Natura 2000. Vol. 1 & 2.

138 La liste rouge des espèces menacées en France - Flore vasculaire de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle; Agence française pour la biodiversité; FCBN (2018).

139 Bilz, M., Kell, S., Maxted, N., Lansdown, R. European Red List of Vascular Plants. Office for official publications of the European Communities; UICN (2011). IUCN Red List of Threatened Species - Regional Assessment. ISBN : 978-92-79-20199-8.

140 La liste rouge des espèces menacées en France - Orchidées de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle; FCBN; SFO (2010).

141 Liste rouge de la flore vasculaire Champagne-Ardenne. UICN (2018).

142 Floraine. Atlas de la flore Lorraine. Vent d'Est (2013). ISBN : 979-1090826151.

143 Kalkman, V., Boudot, J.-P., Bernard, R., Conze, K.-J., Knijf, G. de, Dyatlova, E., Ferreira, S., Jovic, M., Ott, J., Riservato, E., Sahlen, G. European Red List of dragonflies. Office for official publications of the European Communities (2010). ISBN : 978-92-79-14153-9.

144 La liste rouge des espèces menacées en France - Papillons de jour de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle; APIE; Société entomologique de France (2014).

145 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Insectes. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

146 Nieto, A., Alexander, K. European Red List of saproxilics beetles. Office for official publications of the European Communities; UICN (2010).

147 La liste rouge des espèces menacées en France - Libellules de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2016).

148 Méthodologie régionale de constitution des ZNIEFF en Lorraine dans le cadre de la deuxième génération du programme national. Secrétariat scientifique du ZNIEFF Lorraine; Conseil scientifique régional du patrimoine naturel de la région Lorraine (CSRPN) (2012). 28 p. Disponible à l'adresse : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/methodo_znieff_lorraine.pdf.

149 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Amphibiens. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

150 Hochkirch, A., Nieto, A., Garcia Criado, M., Calix, M., Braud, Y., Buzzetti, F. European Red List of Grasshoppers, Crickets and Bush-crickets. Office for official publications of the European Communities; UICN (2016).

151 Sardet, E., Defaut, B. Les orthoptères menacés en France - Liste rouge nationale et listes rouges par domaines biogéographiques. Matériaux orthoptériques et entomocénotiques (2004). Vol. 9, pp.125-37.

152 Temple, H., Cox, J., Neil, A. European Red List of reptiles. Office for official publications of the European Communities; IUCN (2009).

153 La liste rouge des espèces menacées en France. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2015).

154 Temple, H., Cox, J., Neil, A. European Red List of amphibians. Office for official publications of the European Communities; UICN (2009).

155 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Reptiles. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

156 Liste rouge des amphibiens et reptiles de Lorraine. UICN; Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine; LORINAT; Commission reptiles et amphibiens de Lorraine (2016).

157 Birdlife International. European Red List of Birds. Office for official publications of the European Communities; UICN (2015).

158 La liste rouge des espèces menacées en France - Oiseaux de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2016).

159 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Oiseaux nicheurs. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

160 La liste rouge des espèces menacées en France - Mammifères de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2017).

161 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Mammifères. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

162 Directive 2009/147/CE du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages. Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2010). Journal officiel de l'Union européenne, N°L20, pp.7-25.

163 Beresford, N., Brown, J., Copplestone, D., Garnier-Laplace, J., Howard, B., Larsson, C.M., Oughton, D., Pröhl, G., Zinger, I. D-ERICA: an integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation - Description of purpose, methodology and application - ERICA (Contract Number : FI6R-CT-2004-508847). Commission Européenne (2007). N°FI6R-CT-2004-508847. 82 p. Disponible à l'adresse : https://wiki.ceh.ac.uk/download/attachments/115017395/D-Erica.pdf.

164 Beaugelin-Seiller, K., Garnier-Laplace, J. Actualités internationales sur la radioprotection de l'environnement : état de l'art des connaissances, des méthodes et des pratiques. Radioprotection (2016). Vol. 51, N°4, pp.231-5.

165 Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides. Onema (2016). 191 p. Disponible à l'adresse : http://www.zones-humides.org/sites/default/files/images/methode%20ZH/guidezh-complet.pdf.

166 Guide méthodologique pour l'évaluation du risque radiologique pour la faune et la flore sauvages - Concepts, éléments de base et mise en œuvre au sein de l'étude d'impact. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN); Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2021). N°IRSN/2021-00838. 165 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN_2021-00838-Guide-methodologique-evaluation-risque-radiologique-pour-faune-et-flore-sauvages.pdf.

167 Andersson, P., Garnier-Laplace, J., Beresford, N., Copplestone, D., Howard, B., Howe, P., Oughton, D., Whitehouse, P. Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context (protect): proposed numerical benchmark values. Journal of Environmental Radioactivity (2009). Vol. 100, N°12, pp.1100-8.

168 Prospective radiological environmental impact assessment for facilities and activities. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018). N°GSG-10. 104 p.

169 Guillén, J., Baeza, A., Beresford, N., Wood, M.D. Do fungi need to be included within environmental radiation protection assessment models? Journal of Environmental Radioactivity (2017). Vol. 175-176, pp.70-7.

170 Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2013). 230 p. Disponible à l'adresse : http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/ref_-_lignes_directrices-2-1.pdf.

171 Andreadakis, A., Bigard, C., Delille, N., Sarrazin, F., Schwab, T. Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique - Guide de mise en œuvre. Office français de la biodiversité (OFB); Cerema; Conseil général de l'environnement et du développement durable; Ministère de la Transition écologique (2021). 149 p. Disponible à l'adresse : https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/approche-standardisee-du-dimensionnement-de-la-compensation-ecologique-guide-de-mise-en-oeuvre0.

172 Étapes de l'évaluation des incidences natura 2000 (EIN). DREAL Grand Est (2018). 1 p. Disponible à l'adresse : https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/logigramme_et_compo_dossier.pdf.

173 PLUi Secteur Haute Saulx. Communauté de communes des Portes de Meuse (2019). Consulté le 28/07/2020. Disponible à l'adresse : https://www.portesdemeuse.fr/p-l-u-i/.

174 Données d'entrée pour les acteurs du territoire en vue de préparer l'intégration du projet Cigéo. Andra (2016). Document N°PUBLI/20-1710.

175 L'impact socio-économique des centres de l'Andra dans l'Aube et Meuse/Haute-Marne. GIP Haute-Marne (2020). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://poletechno52.fr/L-impact-socio-economique-des-centres-de-l-Andra-dans-l.html.

176 Évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue - Proposition de l'Andra : Tome 1 Chiffrage de Cigéo en phase esquisse : synthèse. Andra (2014). Document N°PUBLI/20-1093. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/cout-cigeo-t1.pdf.

177 Évaluation des coûts afférents à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue - Proposition de l'Andra : Tome 2 Chiffrage de Cigéo en phase esquisse : estimation du coût de base de l'exploitation. Andra (2014). Document N°PUBLI/20-1094. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/cout-cigeo-t2.pdf.

178 GIP Haute-Marne : accompagnement économique Laboratoire Bure-Saudron. GIP Haute-Marne (2019). Consulté le 12/11/2019. Disponible à l'adresse : https://www.gip-haute-marne.fr/.

179 GIP Objectif Meuse : accompagnement économique Laboratoire Bure-Saudron. Objectif Meuse (2019). Consulté le 12/11/2019. Disponible à l'adresse : https://www.objectifmeuse.org/.

180 Boschiero, B. Grand-Est Chiffres clés. Chambre d'agriculture Grand-Est (2017). 6 p.

181 Mémento agreste région Grand-Est - Statistique agricole Bas-Rhin, Haut-Rhin, Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges - Édition 2018. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2018). 24 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento2018_cle49b589.pdf.

182 Mémento agreste région Grand-Est - Statistique agricole Bas-Rhin, Haut-Rhin, Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges - Édition 2019. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2020). 24 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento2019_cle486374.pdf.

183 Mémento 2020 Agreste région Grand-Est - La statistique, l'évaluation et la prospection agricole. Agreste Grand Est; Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; Statistique publique (2021). 28 p. Disponible à l'adresse : https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento2020_cle4da115-1.pdf.

184 Observatoire des signes d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) en région Grand Est - Mémento 2019. Chambre d'agriculture Grand-Est; Institut national de l'origine et de la qualité; Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2019). Disponible à l'adresse : https://www.inao.gouv.fr/content/download/2980/27491/version/1/file/Memento2019_SIQO_GE.pdf.

185 Ducastel, F. Observatoire de la Bio en région Grand Est - Édition 2020 : chiffres 2019. Bio en Grand Est (2020). 28 p. Disponible à l'adresse : https://biograndest.org/wp-content/uploads/2020/09/OBS_2019_VF_web.pdf.

186 Agreste Grand Est - Fiche territoriale Canton de Poissons. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 20 p.

187 Agreste Grand Est - Fiche territoriale Canton Gondrecourt-le-Château. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 19 p.

188 Agreste Grand Est - Fiche territoriale Canton Ligny-en-Barrois. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 20 p.

189 Agreste Grand Est - Fiche territoriale Canton de Montier sur Saulx. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 20 p.

190 Atlas régional Grand Est. Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt; Agreste Grand Est (2017). 92 p.

191 Agreste Grand Est : Statistique agricole : Mémento de l'emploi - Édition 2018. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2019). 28 p.

192 La forêt du Grand Est. DRAAF Grand Est; Ministère de l'Agriculture et de la Pêche; Insee; Fibois Grand Est; IGN (2019). 3 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/44-structure_foret_grand-est_cle841ee9.pdf.

193 Quelles disponibilités en bois en Grand Est ? État des lieux et projection aux horizons 2027 et 2037. IGN (2018). 2 p. Disponible à l'adresse : https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/2018_09_etude_dispo_grandest_ign_rapport_vf_synthese_cle068823.pdf.

194 Filière forêt-bois - département de la Haute-Marne - Édition 2019. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est; Insee; Fibois Grand Est (2019). 3 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/52-haute-marne_cle825223.pdf.

195 Filière forêt-bois - Département de la Meuse - Édition 2019. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; DRAAF Grand Est; Insee; Fibois Grand Est (2019). 3 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/55-meuse_cle83f136.pdf.

196 Dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo. Pièce 17 - Annexes - Documents complémentaires pour la bonne information du public. Andra (2020). Document N°CG-TE-D-LST-AMOA-TR0-0000-20-0029. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2021-10/Pi%C3%A8ce-17-Annexes-Documents%20compl%C3%A9mentaires.pdf.

197 Loi n°2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible tous (1) (2018). Journal officiel de la République française, N°0253.

198 Lignes aériennes RTE (au 6 juin 2020). Open Data Réseaux Énergies (2020). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://opendata.reseaux-energies.fr/explore/dataset/lignes-aeriennes-rte-au-6-juin-2020/information/?disjunctive.etat&disjunctive.tension.

199 Grandes infrastructures gazières - Données 2019. Open Data Réseaux Énergies (2019). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://opendata.reseaux-energies.fr/explore/dataset/les_grandes_infrastructures_gazieres/information/.

200 Décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française, N°286.

201 Arrêté du 9 décembre 2022 pris en application du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française, N°286.

202 Décision n°2015-DC-0508 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 avril 2015 relative à l'étude sur la gestion des déchets et au bilan des déchets produits dans les installations nucléaires de base. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2015).

203 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2012). Journal officiel de la République française.

204 Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires : Annexe 7 - Plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD). Grand Est Territoires (2019). 836 p. Disponible à l'adresse : https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2019/11/sraddet-ge-annexe7-prpgd-vdef.pdf.

205 Étude estimative de la production de bio-déchets au sein des établissements de restauration : rapport d'étude - version finale. Groupement national de la restauration (GNR); IDE Environnement; Ademe (2011). 61 p. Disponible à l'adresse : https://draaf.auvergne-rhone-alpes.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2011Rapport_biodechets_GNR_avec_Annexes_cle83ec34.pdf.

206 Schneider, P., Le Bozec, A. La production des déchets végétaux des espaces verts publics : résultats d'une enquête nationale auprès des villes françaises. Cemagref Éditions (1995). Équipements pour l'eau et l'environnement. Vol. 22. ISBN : 2853624226.

207 L'ASN en région Grand Est. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2020). Consulté le 30/11/2020. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/tout-sur-l-asn/l-asn-en-region/grand-est.

208 Liste des sites SEVESO en région Grand Est. DREAL Grand Est (2021). 4 p. Disponible à l'adresse : https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/liste_seveso_grand_est_-_maj_05-01-2021.pdf.

209 Risques - Transport de matières dangereuses. Gouvernement (2022). Consulté le 28/11/2022. Disponible à l'adresse : https://www.gouvernement.fr/risques/transport-de-matieres-dangereuses.

210 Le Corre, M., Gerbollet, J., Larose, S. Étude de trafic : incidence du projet Cigéo. Cerema (2019). 148 p.

211 Instruction du gouvernement du 16 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2014). Vol. 12, N°DEVT1407546J, pp.87-90.

212 Tonne d'équivalent pétrole / tep. Insee (2020). Consulté le 29/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1355.

213 Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport (dossier complet). Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2019). 225 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Fiches-outils%20du%20r%C3%A9f%C3%A9rentiel%20d%27%C3%A9valuation%20des%20projets%20de%20transport.zip.

214 Référentiel méthodologique pour l'évaluation des projets de transport. DGITM; Ministère de la Transition écologique et Solidaire; Ministère chargé des transports (2014). Disponible à l'adresse : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Note%20technique%20270614.pdf.

215 Plan de prévention du bruit dans l'environnement des infrastructures de l'État - Département de la Meuse - PPBE - 3ème échéance 2018-2023. Préfecture de la Meuse (2019).

216 Plan de prévention du bruit dans l'environnement des infrastructures de l'État dans le département de la Haute-Marne - PPBE - 3ème échéance 2018-2023. Préfecture de la Haute-Marne (2019).

217 Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Méthodes particulières de mesurage. AFNOR (1996), NF S31-010.

218 Arrêté du 27 octobre 1989 relatif à la construction et au contrôle des sonomètres. Ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du territoire (1989). Journal officiel de la République française, N°0272.

219 Électroacoustique - Calibreurs acoustiques. AFNOR, CEI (2018), NF EN IEC 60942.

220 Bruit d'environnement - Rapport de mesures acoustiques - État de référence des niveaux sonores dans les environs proches et au niveau des sites d'implantation du futur centre de stockage Cigéo - Phase 1 hivernale hors couvert végétal. Andra (2015). Document N°CGRPFGES150025.

221 Bruit d'environnement - Rapport de mesures acoustiques - État de référence des niveaux sonores dans les environs proches et au niveau des sites d'implantation du futur centre de stockage Cigéo - Phase 2 estivale avec couvert végétal. Andra (2015). Document N°CGRPFGES160003.

222 Bruit d'environnement et vibratoire - Rapport de synthèse de mesures - État de référence des niveaux sonores et vibratoires dans les environs proches et au niveau des sites d'implantation du futur centre de stockage Cigéo. Andra (2015). Document N°CGRPFGES160001.

223 Circulaire n°97-110 du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national (1998). Bulletin officiel du Ministère de l'Équipement, N°331-98/7.

224 Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement. Ministère de l'Environnement (2011).

225 Rapport de synthèse des modélisations acoustiques. Andra (2017). Document N°CGTEDNTECMOAESE0000170001.

226 Acoustique, atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - Partie 1 : Calcul de l'absorption atmosphérique. ISO (1993), ISO 9613-1.

227 Acoustique, atténuation des sons lors de sa propagation à l'air libre - Partie 2 : Méthode générale de calcul. ISO (1996), ISO 9613-2.

228 Prévision du bruit routier - 2 - Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008). Cerema (ex-SETRA) (2009). Guide technique.

229 Circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (1986). Journal officiel de la République française, pp.12742.

230 Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières. Ministère de l'Environnement (1994). Journal officiel de la République française, N°246, pp.15041-4.

231 Chapot, P. Loi expérimentale de propagation des vibrations dues aux tirs d'explosifs. Comité français de mécanique des roches (1981). Deuxièmes journées nationales géotechniques, Nantes, 11 et 12 mars 1981.

232 L'utilisation du guide pour la mesure et le suivi de l'effet des vibrations induites par les travaux (recommandation AFTES GT3R2F2). Tunnels et ouvrages souterrains (2008), N°210, pp.466-72.

233 Vibrations et chocs mécaniques - Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps - Partie 2 : vibrations dans les bâtiments (1 Hz à 80 Hz). AFNOR (2014), NF ISO 2631-2.

234 Projet Cigéo - Mesures vibratoires. Andra (2015). Document N°CGRPFGES160004.

235 Sheng, X., Jones, C., Thompson, D.J. Modelling ground vibration from railways using wavenumber finite - and boundary-element methods. Proceedings of the Royal Society (2005). Vol. 461, N°2059, pp.2043-70.

236 Vibrations mécaniques - Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires - Partie 1 : directives générales. ISO (2005), ISO 14837-1.

237 Loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (version consolidée). Assemblée nationale; Sénat (2019).

238 Loi n°2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (version consolidée de 2017). Assemblée nationale; Sénat (2016). Journal officiel de la République française. Vol. 2, N°0184.

239 Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses. Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2018). Journal officiel de la République française.

240 Light pollution map. Earth Observation Group; NOAA National Geophysical Data Center (2020). Consulté le 04/02/2021. Disponible à l'adresse : https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=6.48&lat=49.0522&lon=7.1807&layers=B0TFFFFFFFFFFFFFFF.

241 Loi n°93-24 du 8 janvier 1993 sur la protection et la mise en valeur des paysages et modifiant certaines dispositions législatives en matière d'enquêtes publiques. Assemblée nationale; Sénat; Président de la République (1993). Journal officiel de la République française. Vol. 7.

242 Loi n°95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement (2000).

243 Carte des unités interactive : Les 16 unités de paysage du département de Meurthe-et-Moselle. Conseil général de Meurthe-et-Moselle (2011). Consulté le 12/02/2021. Disponible à l'adresse : https://www.vivrelespaysages.meurthe-et-moselle.fr/unites-de-paysage/carte-des-unites-interactive.

244 Atlas des paysages de Vosges. Direction départementale des territoires de Vosges (2018). 18 p. Disponible à l'adresse : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/atlas_cd88.pdf.

245 Référentiel des paysages de Haute-Marne - Partie 1 : Connaître et comprendre. Direction départementale des territoires Haute-Marne; Folléa Gautier (2016). 124 p. Disponible à l'adresse : https://www.haute-marne.gouv.fr/Politiques-publiques/Amenagement-du-territoire-urbanisme/Paysage/Referentiel-des-paysages-de-Haute-Marne.

246 Les grands ensembles et les unités de paysage : aperçu général. Conseil général de Meurthe-et-Moselle (2013). Consulté le 12/02/2021. Disponible à l'adresse : https://www.vivrelespaysages.meurthe-et-moselle.fr/l-organisation-des-paysages-de/les-grands-ensembles-et-les-unites,148.

247 Référentiel des paysages de l'Aube. Direction départementale des territoires de l'Aube (2011). 265 p. Disponible à l'adresse : https://www.aube.gouv.fr/Politiques-publiques/Amenagement-du-territoire-urbanisme-construction-logement/Amenagement-du-territoire/Paysages/Referentiel-des-paysages-de-l-Aube.

248 Géoportail de l'urbanisme. Ministère de la Cohésion des territoires (2021). Consulté le 13/01/2021. Disponible à l'adresse : https://www.geoportail-urbanisme.gouv.fr/map/.

249 Commune de Gondrecourt-le-Château - Modification simplifiée du plan local d'urbanisme : notice de présentation et règlement écrit modifié. Auddicé (2018).

250 Commune de Chassey-Beaupré - Carte communale - Rapport de présentation. Environnement conseil (2009). 50 p.

251 Mérimée : une base de données du patrimoine monumental français de la Préhistoire à nos jours. Ministère de la Culture (2020). Consulté le 01/07/2020. Disponible à l'adresse : https://www.culture.gouv.fr/Espace-documentation/Bases-de-donnees-Culture/Merimee-une-base-de-donnees-du-patrimoine-monumental-francais-de-la-Prehistoire-a-nos-jours.

252 Évaluation environnementale Infrastructures de transport et urbanisation : préconisations méthodologiques. Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2018).

253 L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques. Ministère de la Transition écologique et Solidaire; EFESE; INRA (2017). Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/levaluation-francaise-des-ecosystemes-et-des-services-ecosystemiques#scroll-nav__2.

254 EFESE : cadre conceptuel. Fondation pour la recherche sur la biodiversité; Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2017). 88 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Thema%20-%20Efese%20-%20Le%20cadre%20conceptuel.pdf.

255 Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., Windhorst, W. Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. Landscape Online (2009). Vol. 15, pp.1-22.

256 Campagne, C.S., Roche, P., Gosselin, F., Tschanz, L., Tatoni, T. Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. Ecological Indicators (2017). Vol. 79, pp.63-72.

257 Gorn, L., Kleemann, J., Fürst, C. Improving the Matrix-Assessment of Ecosystem Services Provision—The Case of Regional Land Use Planning under Climate Change in the Region of Halle, Germany. Land (2018). Vol. 7, N°2, pp.76.

258 Hermann, A., Kuttner, M., Hainz-Renetzeder, C., Konkoly-Gyuró, É., Tirászi, Á., Brandenburg, C., Allex, B., Ziener, K., Wrbka, T. Assessment framework for landscape services in European cultural landscapes: An Austrian Hungarian case study. Ecological Indicators (2014). Vol. 37 - Part A, pp.229-40.

259 Kroll, F., Müller, F., Haase, D., Fohrer, N. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. Land Use Policy (2012). Vol. 29, N°3, pp.521-35.

260 Stoll, S., Frenzel, M., Burkhard, B., Adamescu, M., Augustaitis, A., Baeßler, C., Bonet, F.J., Carranza, M.L., Cazacu, C., Cosor, G.L., Díaz-Delgado, R., Grandin, U., Haase, P., Hämäläinen, H., Loke, R., Müller, J., Stanisci, A., Staszewski, T., Müller, F. Assessment of ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network. Ecological Modelling (2015). Vol. 295, pp.75-87.

261 Vihervaara, P., Kumpula, T., Tanskanen, A., Burkhard, B. Ecosystem services - A tool for sustainable management of human-environment systems: Case study Finnish Forest Lapland. Ecological Complexity (2010). Vol. 7, N°3, pp.410-20.

262 Costanza, R. Ecosystem Services in Theory and Practice. Routledge Handbook of Ecosystem Services (2016), pp.15-24.

263 L'évaluation environnementale des projets d'infrastructures linéaires de transport. Cerema (ex-SETRA) (2020). Références. ISBN : 978-2-37180-422-7.

264 Rapport annuel 2016. Autorité environnementale (2016). 56 p. Disponible à l'adresse : https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/174000186.pdf.

265 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). Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2010). Journal officiel de l'Union européenne, N°L334.

266 Directive 91/271/CEE du Conseil, du 21 mai 1991, relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Conseil des communautés européennes (1991). Journal officiel de l'Union européenne.

267 Directive 2008/1/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 janvier 2008 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (version codifiée). Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2008). Journal officiel de l'Union européenne.

268 BAT reference documents. European Commission (2021). Consulté le 19/11/2021. Disponible à l'adresse : https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/.

269 Documents BREF et conclusions MTD. Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) (2020). Consulté le 28/10/2021. Disponible à l'adresse : https://aida.ineris.fr/guides/directive-ied/documents-bref.

270 Décision d'exécution (UE) 2018/1147 de la commission du 10 août 2018 établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour le traitement des déchets, au titre de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil. Commission Européenne (2018). Journal officiel de l'Union européenne.

271 Rectificatif à la décision d'exécution (UE) 2018/1147 de la Commission du 10 août 2018 établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour le traitement des déchets, au titre de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil (2019). Journal officiel de l'Union européenne.

272 Document de référence sur les meilleures techniques disponibles : Émissions dues aux stockages des matières dangereuses ou en vrac. Commission Européenne; Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du

Développement durable et de la Mer (2006). 392 p. Disponible à l'adresse : https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive_ied/esb_bref_0706_VF_0.pdf.

273 Document de référence sur les meilleures techniques disponibles - BREF Efficacité énergétique. Commission Européenne (2009). 507 p. Disponible à l'adresse : https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive_ied/ENE_Adopted_02-2009_VF_1.pdf.

274 Document de référence sur les meilleures techniques disponibles : Systèmes de refroidissement industriels. Commission Européenne; Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (2001). 296 p. Disponible à l'adresse : https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive_ied/cvs_bref_1201_VF_1.pdf.

275 Brinkmann, T., Both, R., Scalet, B.M., Roudier, S., Delgado Sancho, L. JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations. Commission Européenne (2018). 196 p. Disponible à l'adresse : https://aida.ineris.fr/sites/aida/files/documents-bref/ROM_2018_08_20.pdf.

276 Directive n°2006/21/CE du 15/03/06 concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive et modifiant la directive 2004/35/CE (2006). Journal officiel de l'Union européenne, N°L 102.

277 Garbarino, E., Orveillon, G., Saveyn, H.G.M., Barthe, P., Eder, P. Best available techniques (BAT) - Reference document for the management of waste from extractive Industries, in accordance with Directive 2006/21/EC. European Commission (2018). N°EUR 28963 EN. 722 p. Disponible à l'adresse : https://aida.ineris.fr/sites/aida/files/documents-bref/jrc109657_mwei_bref_-_for_pubsy_online.pdf.

278 Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air (2010). Journal officiel de la République française, N°247, pp.19011.

279 Qualité de l'eau - Dosage par chromatographie en phase gazeuse d'un certain nombre d'hydrocarbures aromatiques monocycliques, du naphtalène et de divers composés chlorés par dégazage, piégeage et désorption thermique. AFNOR (01/01/04), NF EN ISO 15680.

280 Arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement; Ministère de l'Intérieur; Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement; Secrétariat d'Etat au logement (1999). Journal officiel de la République française, N°261, pp.16754-9755.

281 Arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit (version consolidée du 23 août 2017). Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer; Ministère du Travail et des Affaires sociales; Ministère de l'Intérieur; Ministère de l'Environnement; Ministère de la Fonction publique (1996). Journal officiel de la République française.

282 Arrêté du 26 janvier 2007 modifiant l'arrêté du 17 mai 2001 modifié fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2007). Journal officiel de la République française, N°37, pp.2685.

283 Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières. Ministère de l'Environnement (1995). Journal officiel de la République française, N°109, pp.7753.

284 Arrêté du 3 mai 2002 pris pour l'application du décret n° 2002-867 du 3 mai 2002 relatif aux subventions accordées par l'État concernant les opérations d'isolation acoustique des points noirs du bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement; Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement; Secrétariat d'État au logement; Secrétariat d'État au budget (2002). Journal officiel de la République française, N°105.

285 Circulaire du 12 juin 2001 observatoire du bruit des transports terrestres : résorption des points noirs du bruit des transports terrestres. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement; Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (2001).

286 Circulaire du 25 mai 2004 relative au bruit des infrastructures des transports terrestres. Ministère de l'Écologie et du Développement durable; Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer; Ministère de l'Emploi, du Travail et de la Cohésion sociale (2004).

287 Décret n°85-453 du 23 avril 1985 pris pour l'application de la loi 83630 du 12-07-1983 relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement. Premier ministre (1985). Journal officiel de la République française. Vol. 96, N°117.

288 Loi n°92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit (1993). Journal officiel de la République française, N°1.

289 Acoustique - Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 1 : isolement aux bruits aériens. AFNOR (2013), NF EN ISO 717-1.

290 Arrêté préfectoral n° 2000-1269 portant réglementation des bruits de voisinage dans le département de la Meuse. Préfecture de la Meuse (2000).

291 Arrêté préfectoral n°1343 du 11 décembre 2008 rélatif à la lutte contre les bruits du voisinage. Préfecture de la Haute-Marne (2008).

© Andra • Décembre 2022 • Création graphique : Agence Les Récréateurs • Crédit photo : Andra

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr