2021

Dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo

Pièce 6

Etude d'impact du projet global Cigéo

Volume VII

Méthodes de réalisation

Haute Marne le Département

Rte

SNCF RÉSEAU

SIAEP d'Échenay

SIVU du Haut Ornain

EDF

orano

cea

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Mise à jour du dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo

Suite aux recommandations émises dans le cadre du processus d'évaluation environnementale et notamment suite à l'avis de l'Autorité environnementale (Ae), des mises à jour ont été apportées par l'Andra dans certaines pièces du dossier (déposé pour instruction le 3 août 2020[1]) avant son passage en enquête publique.

Pour assurer la clarté de l'information du public, l'Andra assure la traçabilité de ces mises à jour.

Toutes les adaptations (modifications ou ajouts) se matérialisent par un surlignage gris dans le corps du texte, les corrections mineures de forme et de mise en cohérence ne sont pas matérialisées.

[1] Pour information, le dossier soumis à instruction a été rendu public sur le site internet de l'Andra - **https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference**

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 adaptées à l'avancement de la conception et des concertations préalables de chaque opération du projet global 10
1.1.2 Définition de l'état actuel 11
1.1.3 Hiérarchisation des enjeux 12
1.1.4 Identification et évaluation des incidences 12
1.1.5 Appréciation du niveau d'incidence 13
1.1.6 Définition des mesures selon la séquence éviter/réduire/compenser les incidences 13
1.2 Définition des aires d'étude 14
1.2.1 Typologie des aires d'étude 14
1.2.2 Description des aires d'étude associées aux facteurs de l'environnement 16

2. Atmosphère - Méthodes 25
2.1 La caractérisation du milieu atmosphérique 26
2.2 Acquisition des données atmosphériques 26
2.2.1 Les données météorologiques utilisables 26
2.2.2 La station météorologique de Saint-Dizier 28
2.2.3 La station météorologique et atmosphérique d'Houdelaincourt 28
2.2.4 La station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois 29
2.3 Émissions de gaz à effet de serre 29
2.3.1 Méthode du bilan carbone 29
2.3.2 Capacité de séquestration carbone 30
2.4 Évaluation des incidences sur la qualité de l'air 31
2.4.1 Choix des polluants 31
2.4.2 État actuel 31
2.4.3 Méthode d'acquisition des données sur la qualité de l'air 31
2.4.4 Modèle de dispersion atmosphérique 32

3. Sols - Méthodes 35
3.1 Géomorphologie 36
3.2 Occupation du sol 36
3.3 Pédologie 36
3.3.1 Carte pédologique 36
3.3.2 Caractéristiques physico-chimiques des sols 37

4. Sous-sol - Méthodes 39
4.1 Campagnes de reconnaissance de site 40
4.2 Risques naturels de mouvements de terrain 40

5. Eaux - Méthodes 41
5.1 Eaux souterraines 42
5.1.1 Définition du système hydrogéologique 42
5.1.2 Détermination des niveaux piézométriques 43
5.1.3 Détermination de l'état des masses d'eau souterraines 45
5.1.4 Recensement des usages des eaux souterraines 47
5.1.5 Recensement des risques d'inondation par remontée de nappe 47
5.1.6 Modélisations des incidences du centre de stockage Cigéo sur les eaux souterraines 47
5.2 Eaux superficielles 48
5.2.1 Définition du réseau hydrographique 48
5.2.2 Appréciation du risque inondation 49
5.2.3 Détermination des débits des cours d'eau 51
5.2.4 Détermination de l'état qualitatif des cours d'eau 54
5.2.5 Définition de la « pluie de référence » ou pluie projet 61
5.2.6 Définition de l'impact qualitatif et quantitatif sur les masses d'eau superficielles 72
5.2.7 Dimensionnement des stations d'épuration au droit de la zone descenderie et la zone puits du centre de stockage Cigéo 80
5.3 Disponibilité durable de la ressource en eau 82
5.3.1 Caractéristiques des ressources sollicitées 82
5.3.2 Estimation des besoins en eau potable du centre de stockage Cigéo et des collectivités 83
5.3.3 Disponibilité de la ressource 84

6. Biodiversité et milieu naturel - Méthodes 85
6.1 État actuel du milieu naturel 86
6.1.1 Recensement des zonages environnementaux 86
6.1.2 Analyse bibliographique et réalisation d'inventaires faune-flore 86
6.1.3 Inventaires des habitats et de la flore 89
6.1.4 Inventaires de la faune 89
6.1.5 Délimitation des zones humides 92
6.1.6 Continuités écologiques 93
6.1.7 Appréciation des enjeux écologiques 94
6.1.8 Appréciation des niveaux d'intérêt des habitats d'espèces 96
6.1.9 Synthèse de la démarche d'analyse de l'état actuel du milieu naturel 98
6.2 Incidences sur le milieu naturel 98
6.2.1 Effets du projet sur l'environnement 98
6.2.2 Évaluation des niveaux d'incidences 100
6.3 Compensation écologique 100
6.3.1 Les grands principes de la compensation écologique 100
6.3.2 Principes généraux retenus par l'Andra 101
6.3.3 Méthode dite « Miroir » 102
6.3.4 Calcul de la dette écologique du projet global Cigéo 103
6.3.5 Calcul gain compensatoire écologique du projet global Cigéo 105
6.4 Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000 106
6.4.1 Méthode de traitement et d'analyse des données 106
6.4.2 Définition des zones d'études 107
6.4.3 Évaluation préliminaire : sites Natura 2000 susceptibles d'être affectés 108
6.4.4 Évaluation détaillée des sites Natura 2000 retenus 112
6.4.5 Effets cumulés du projet global Cigéo avec d'autres projets connus 112
6.5 Incidences sur les zones humides 112
6.6 Incidence sur les continuités écologiques 113

7. Emploi, activités économiques, population et habitat - Méthodes 115
7.1 Emploi et activités économiques *116*
7.2 Population *116*
7.3 Habitat *116*

8. Activités agricoles et sylvicoles - Méthodes 117
8.1 État actuel des activités agricoles et sylvicoles *118*
8.2 Évaluation des incidences sur les activités agricoles et du besoin de compensation *118*
8.2.1 Appréciation du besoin de compensation : diminution des productions liée à la perte de terres agricoles 119
8.2.2 Appréciation du besoin de compensation Changement des pratiques agricoles pour la mise en œuvre de mesures compensatoires 120
8.2.3 Besoin de compensation pour les productions agricoles sous SIQO 120
8.3 Détermination de la compensation collective agricole *121*
8.4 Évaluation des incidences sur les activités sylvicoles et du besoin de compensation *122*
8.5 Détermination de la compensation forestière *122*

9. Réseaux - Méthodes 123

10. Déchets radioactifs – Méthodes 125

11. Déchets conventionnels, risques technologiques et sites pollués ou potentiellement pollués - Méthodes 127
11.1 Les déchets produits par le centre de stockage Cigéo *128*
11.2 Risques technologiques *129*
11.2.1 Risques industriels 129
11.2.2 Risque pyrotechnique 129
11.2.3 Risque de rupture de barrage 129
11.3 Sites pollués ou potentiellement pollués *129*

12. Infrastructures de transport - Méthodes 131
12.1 Infrastructures de transport *132*
12.1.1 Recensement des infrastructures et services de transport 132
12.2 Méthodologie utilisée pour le rétablissement des voiries interceptées *132*
12.3 Méthodologie d'évaluation des évolutions du trafic, des conditions de circulations et des méthodes de calcul *132*
12.3.1 Trafic ferroviaire 132
12.3.2 Trafic routier pour le centre de stockage Cigéo 132
12.3.3 Trafic routier pour les autres opérations du projet global Cigéo 143
12.4 Méthodologie utilisée dans le calcul des consommations énergétiques *143*
12.4.1 Méthodologie appliquée 143
12.4.2 Notion de tonne d'équivalent-pétrole 144
12.4.3 Consommations unitaires des véhicules de transport 144
12.5 Méthodologie pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité *146*
12.5.1 Méthodologie appliquée pour le bilan coûts-avantages pour la collectivité 146
12.5.2 L'actualisation 150
12.5.3 Méthodologie appliquée pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances 150

13. Cadre de vie - Méthodes 151
13.1 Environnement sonore *152*
13.1.1 État actuel 152
13.1.2 Réglementation en vigueur 152
13.1.3 Incidences 154
13.2 Environnement vibratoire *155*
13.2.1 État actuel 155
13.2.2 Règlementation 155
13.2.3 Calcul et modélisation des incidences liées aux vibrations 155
13.3 Nuisances lumineuses *156*
13.4 Nuisances olfactives *156*
13.5 Champs électromagnétiques *156*

14. Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs - Méthodes 157
14.1 Paysage *158*
14.1.1 État actuel du paysage 158
14.1.2 Évaluation des incidences sur le paysage 158
14.2 Patrimoine culturel *159*
14.2.1 État actuel du patrimoine culturel 159
14.2.2 Incidences sur le patrimoine culturel 159
14.3 Activités de loisir et tourisme *159*
14.3.1 Recensement des activités de loisir et tourisme (état actuel) 159
14.3.2 Évaluation des incidences sur les activités de loisirs et de tourisme 159

15. Planification territoriale - Méthodes 161
15.1 État actuel de la planification territoriale et de l'aménagement du territoire *162*
15.2 Incidence du projet sur l'aménagement du territoire *162*

16. Interactions et effets cumulés - Méthodes 163
16.1 Méthode pour la caractérisation des interactions et les services écosystémiques *164*
16.1.1 Caractérisation des interactions et des services écosystémiques 164
16.1.2 Incidences sur les interactions et les services écosystémiques 170
16.2 Méthode pour l'évaluation des effets cumulés avec d'autres projets connus *171*
16.2.1 Réglementation 171
16.2.2 Notion d'effet cumulé 171
16.2.3 Justification des projets analysés 171
16.2.4 Analyse des potentielles incidences cumulées 172

17. Santé - Méthodes 173
17.1 Méthodes d'évaluation des incidences radiologiques *174*
17.1.1 Élaboration de l'état radiologique actuel 174
17.1.2 Évaluation des incidences liées aux émissions radiologiques 180
17.1.3 Analyse de sensibilité de l'évaluation aux incertitudes 190
17.1.4 Conclusion 191
17.2 Méthodes d'évaluation des incidences conventionnelles sur la santé humaine *192*

17.2.1 Méthode d'évaluation des incidences sur la santé humaine liées aux émissions physiques et risques sanitaires associés 192
17.2.2 Méthode d'évaluation des incidences sur la santé humaine liées aux émissions chimiques et risques sanitaires associés 192
17.2.3 Analyse de sensibilité de l'évaluation aux incertitudes 193
17.2.4 Conclusion 194

18. Démarche d'évaluation des incidences après fermeture 195
18.1 Les scénarios de sûreté 196
18.2 Les évaluations de sûreté 196

Annexes 199

Annexe 1 Valeur seuils relatives à la qualité de l'air 200

Annexe 2 Caractéristiques des sources d'émission atmosphériques en phase de fonctionnement 202
2.1 Caractéristiques des sources linéiques 202
2.2 Caractéristiques des sources surfaciques 205
2.2.1 Émission des engins de chantier 205
2.2.2 Surface de stockage des matériaux 205
2.3 Caractéristiques des sources ponctuelles 205

Annexe 3 Détermination des coefficients de Montana avec les différents ajustements de Montana (fréquence de retour 2 ans, 10 ans et 100 ans) 208
3.1 Résultats 208
3.2 Discussions – Conclusion 213
3.2.1 Comparaison des données médianes de Météo-France et d'autres sources 213
3.2.2 Commentaires sur les nouveaux ajustements de Montana 215

Annexe 4 Définition des pluies centennales de référence 223
4.1 Pluies centennales utilisées pour les dimensionnements 223
4.1.1 Résultats 224
4.1.2 Discussions et conclusion 231
4.2 Pluies centennales utilisées pour le modèle global 231
4.2.1 Résultats 232
4.2.2 Discussions et conclusion 233

Annexe 5 Substances prises en compte dans la caractérisation de l'état des cours d'eau 235
5.1 Synthèse des polluants 235

Annexe 6 Substances prises en compte dans la caractérisation de l'état des masses d'eau souterraines 240
6.1 Paramètres et polluants de l'état de la masse d'eau souterraine 240

Annexe 7 Détail des dates et conditions des prospections faune-flore-habitats 241
7.1 Détail des prospections de terrain pour les raccordements électriques 241
7.2 Détail des prospections de terrain pour le projet de centre de stockage Cigéo 241
7.3 Détail des prospections de terrain pour la ligne ferroviaire 027000 246
7.4 Calendrier des sondages pédologiques pour identification des zones humides 247

Annexe 8 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces 249
8.1 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces 249

Annexe 9 Données, hypothèses et résultats des calculs dosimétriques réalisés avec le logiciel CERES® 257
9.1 Consommations alimentaires et débits respiratoires 257
9.2 Filiations des éléments radioactifs prises en compte dans les calculs 257
9.3 Facteurs de transfert des éléments radioactifs dans l'environnement 257
9.4 Ration alimentaire des animaux 259
9.5 Caractéristiques des cultures 260
9.6 Caractéristiques des sols 260
9.7 Conditions météorologiques 262

Tables des illustrations 269

Références bibliographiques 271

Préambule

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

	ÉTUDE D'IMPACT
RNT	Résumé non technique de l'étude d'impact
VOLUME I	Introduction et contexte réglementaire
VOLUME II	Justification et description du projet global Cigéo
VOLUME III	État actuel de l'environnement et facteurs susceptibles d'être affectés par le projet
VOLUME IV	Évaluation des incidences et mesures d'évitement, de réduction et de compensation de ces incidences
VOLUME V	Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000
VOLUME VI	Incidences sur la santé humaine
VOLUME VII	**Méthodes de réalisation**

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

- établir l'état actuel « scénario de référence » 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.

Dans ce volume, les méthodes sont présentées par facteur, en regroupant dans un même chapitre, les méthodes ayant été retenues pour établir l'état actuel 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

La présente 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 (installations, aménagements, constructions d'ouvrages et activités) nécessaires à la réalisation et à l'exploitation du centre de stockage Cigéo, menées par l'Andra et par d'autres maîtres d'ouvrage, en l'état actuel de leurs avancements.

De par la nature et les dimensions du centre de stockage Cigéo, ses incidences sur l'environnement constituent la part majeure des incidences de l'ensemble des opérations du projet global, même si les opérations des autres maîtres d'ouvrages sont également susceptibles d'avoir des incidences spécifiques sur l'environnement notamment de par leur localisation.

Compte tenu des nombreuses autorisations qui seront nécessaires à la réalisation de ce projet global Cigéo (autorisation de création d'une installation nucléaire de base, autorisations environnementales, permis de construire…), cette étude d'impact sera actualisée dans le cadre des procédures propres à l'instruction de chacune de ces autorisations. Cette actualisation permettra, dans le respect du principe de proportionnalité [1], d'assurer l'exhaustivité et la qualité de l'évaluation des incidences environnementales du projet global Cigéo et de donner le niveau d'information requis pour chaque dossier en application du principe de spécialité[2].

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

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. Ces opérations sont approfondies progressivement. Elles feront l'objet de procédures d'autorisation après l'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage.

[1] Principe de proportionnalité: « principe cardinal de l'évaluation environnementale qui consiste à adapter le contenu de l'étude d'impact à l'ampleur du projet, plan ou programme et aux enjeux environnementaux du territoire d'implantation » (source Guide THEMA du Commissariat général au développement durable « Le principe de proportionnalité dans l'évaluation environnementale, août 2019 » (1))Il repose sur trois critères : la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet (milieu urbain/rural, occupation de l'espace, présence d'espèces et/ou d'habitats protégés, etc.) ;

- l'importance et la nature des travaux, ouvrages et aménagements projetés pour les projets (type de projet, caractéristiques techniques, etc.) ;
- les incidences prévisibles du projet, plan ou programme au regard des enjeux environnementaux et de la santé humaine.

[2] Principe de spécialité : principe selon lequel chaque branche du droit est régie à la fois par des règles communes (appelées aussi principes généraux) mais aussi par des règles particulières applicables en complément de ces principes généraux.

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 14

1.1 Démarche itérative de l'étude d'impact

L'évaluation des incidences du volume IV de la présente étude d'impact est réalisée à partir de l'état actuel et des caractéristiques du projet, présentés respectivement dans les volumes III et II. 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 et de limiter les incidences négatives (appelées aussi impacts ou effets) notables du projet global Cigéo sur l'environnement et la santé humaine, en tenant compte de ses caractéristiques et de celles des milieux d'implantation.

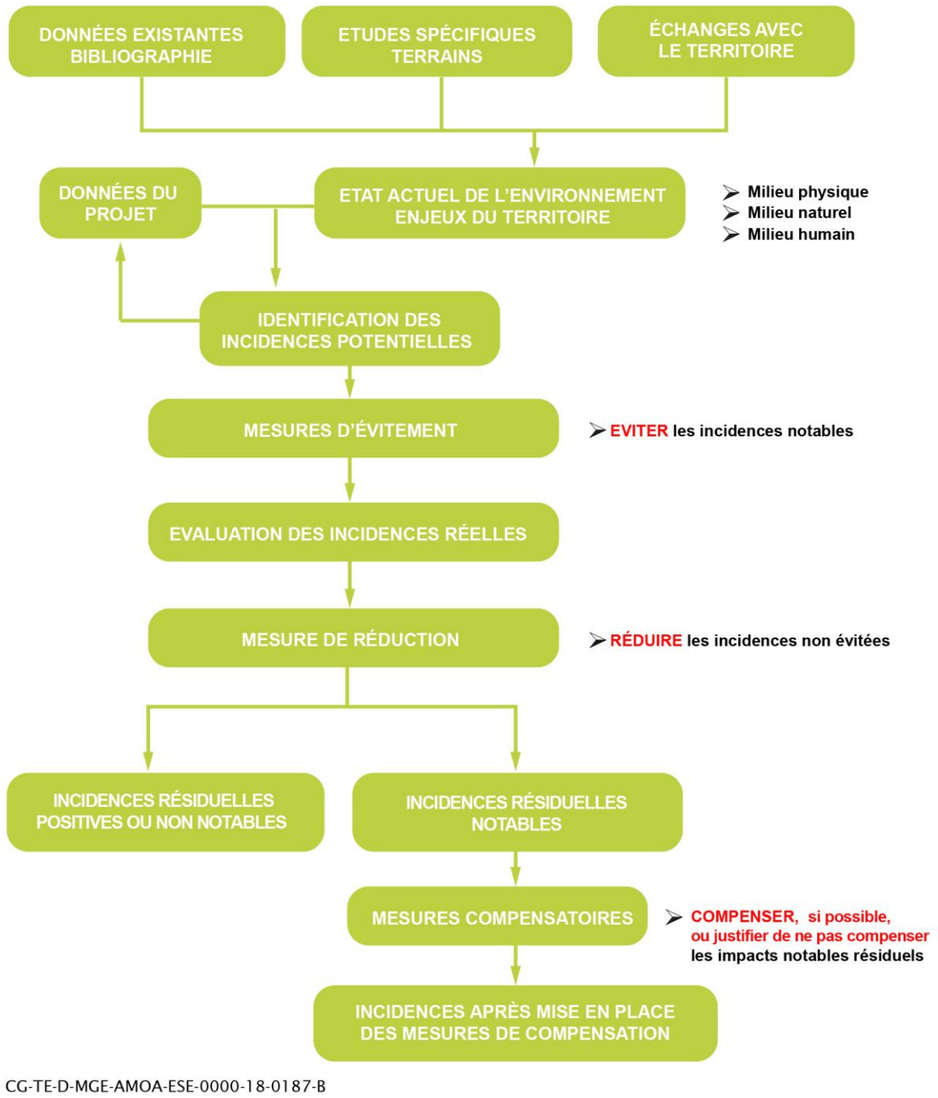


Figure 1-1 Présentation générale de la démarche d'évaluation des incidences (impacts)

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

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 déclaration d'utilité publique 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 terrains 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 actuel proposés sont principalement bibliographiques. Ils sont accompagnés de premiers repérages de terrains 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 mise en œuvre pour ces types de travaux et les engagements nécessaires à la préservation des principaux enjeux environnementaux.

Les travaux de construction du poste de transformation électrique et les lignes électriques enterrées ainsi que la déviation de la route départementale D60/960 sont au stade de l'analyse des variantes. Ainsi, plusieurs éventualités d'implantations sont présentées. Des analyses bibliographiques et des premiers inventaires de terrains nourrissent la description de l'état actuel 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. Les points de départs et d'arrivées sont connus, mais le trajet reste à définir. Des travaux de création de nouvelles adductions d'eau sont nécessaires. *À contrario*, l'expédition et le transport de colis de déchets radioactifs utilise uniquement des infrastructures existantes, aucun aménagement ne découle donc de cette opération. Les principaux enjeux et incidences potentiels à prendre en compte sous forme de mesures d'évitement dans la conception de ces opérations sont identifiés grâce aux données bibliographiques disponibles.

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

Opération du projet global	Avancement l'élaboration des ouvrages et installations	Définition fonctionnelle	Études de variantes	Étude du projet retenu après participation du public
Installations du centre de stockage de déchets radioactifs sous maîtrise d'ouvrage de l'Andra	Leur emplacement a été défini par plusieurs phases de décisions ayant chacune fait l'objet d'une participation directe du public ou du vote d'une loi (cf. volume II de la présente étude d'impact).	X	X	X
Alimentation électrique sous maîtrise d'ouvrage de RTE	Des études de faisabilité de six variantes pour l'implantation du poste de transformation électrique et des liaisons souterraines aux installations du centre de stockage ont été réalisées.	X	X	-
	L'objectif fonctionnel de la sécurisation de la ligne 400 kV existante est défini. La localisation et les modalités précises des travaux restent à définir.	X	-	-
Adduction d'eau	L'opération d'adduction d'eau est définie par ses objectifs fonctionnels d'alimentation en eau potable du centre de stockage à partir des sources d'Échenay, Gondrecourt-le-Château et Thonnance.	X	-	-
Déviation de la RD60/960	Trois options contrastées de variantes sont en cours de définition.	X	X	-
Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Les études de conception débutent ; les éventuelles variantes d'aménagement d'ouvrages d'art sont très localisées autour de la ligne existante à mettre à niveau et s'intègrent dans l'aire d'étude immédiate de l'opération.	X	-	-

1.1.2 Définition de l'état actuel

L'analyse de l'état actuel 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 actuel 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 actuel de l'environnement n'implique pas pour autant de mener le même degré d'approfondissement géographique ou thématique pour tous les facteurs. L'état actuel s'affine également selon la progressivité des études et des impacts potentiels. 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 actuel 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.

L'état actuel est également désigné sous le terme « scénario de référence ».

La détermination de l'état actuel permet également de définir l'évolution projetée de l'état actuel dans l'hypothèse où le projet n'est pas réalisé. Cette situation est élaborée à partir des éléments recensés dans l'état actuel, en particulier en décrivant les perspectives d'évolution envisagées. Définir la situation de référence par thématique permet une comparaison entre l'état actuel du site sans le projet et celle sous l'influence du projet retenu.

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 actuel de l'environnement et complétées par des études qui assurent l'exhaustivité de l'analyse selon les divers 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 de l'exploitation de Cigéo.

La « zone OPE » couvre une surface de 900 km², située pour les deux tiers dans le département de la Meuse et pour un tiers dans celui de la Haute-Marne, regroupant ainsi quatre-vingt 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).

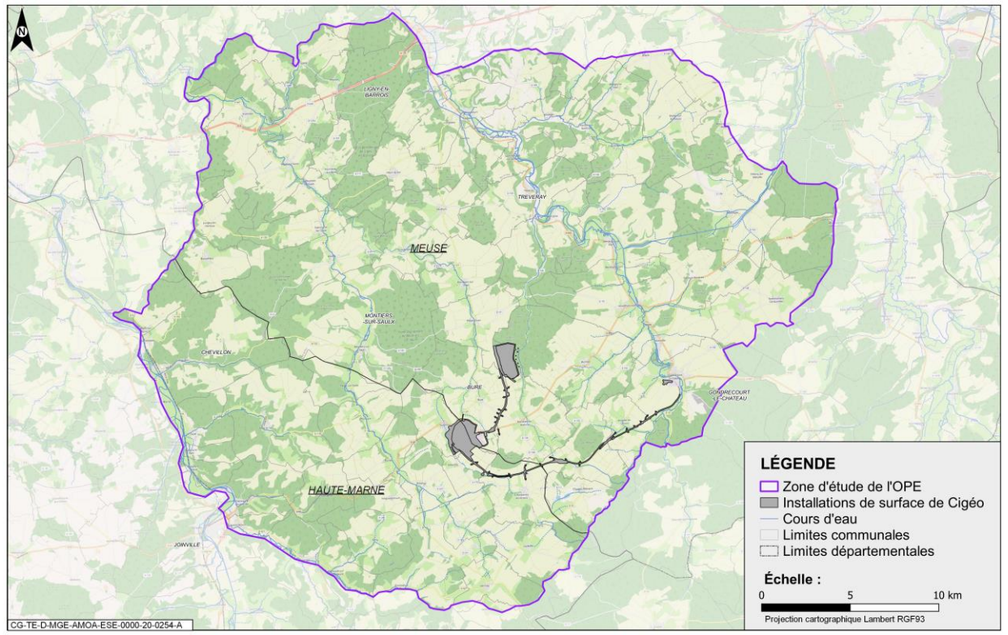


Figure 1-2 Cartographie du territoire couvert par l'observatoire pérenne de l'environnement

1.1.3 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 on peut trouver des zones présentant des niveaux d'enjeu différents.

Une hiérarchisation des enjeux a été réalisée. L'échelle de valeurs des enjeux utilisée dans la présente étude d'impact comprend 5 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

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

1.1.4 Identification et évaluation des incidences

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.

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.

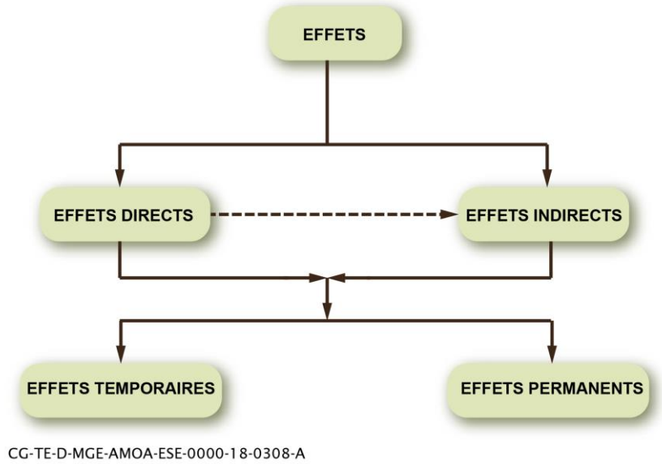


Figure 1-3 Des effets de différents types

Les incidences correspondant aux effets induits par le projet sur les milieux sont évaluées au regard des données de l'état actuel 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 volume II chapitre 5.

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 des 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 radioactive à vie longue, sont étudiés spécifiquement à très long terme, en phase de post-surveillance, jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années.

La caractérisation des niveaux d'incidence « très fort », « fort », « modéré », « faible », « très faible » ou « positif » sur les différents facteurs s'appuie sur les éléments d'appréciation présentés dans le chapitre 1.1.5 du présent document.

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 liée au projet contribuant au développement socio-économique local.

La démarche d'évaluation des incidences intègre la séquence « éviter, réduire, compenser » (cf. Chapitre 0 du présent document) et elle est itérative.

1.1.5 Appréciation du niveau d'incidence

L'évaluation de l'incidence dépend, comme indiqué ci-dessus, des phénomènes impliqués (émissions, occupation de sols…) ainsi que de leur ampleur, de leur durée et des enjeux des différents facteurs de l'environnement.

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	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 Gêne ressentie par quelques personnes ou pendant une durée limitée Altération d'habitats ou d'espèces qui ne remet pas en cause son état de conservation et/ou son cycle biologique
Modéré	Dépassement ponctuel de seuils réglementaires Dégradation engendrant une modification perceptible d'un facteur de l'environnement, localisée ou limitée à quelques années Gêne ressentie par quelques dizaines de personnes 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	Dépassement régulier de seuil réglementaire Dégradation engendrant une modification importante d'un facteur de l'environnement, permanente ou sur une période longue. Perturbation du cadre de vie d'un grand nombre de riverains 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
Très fort	Destruction ou dégradation d'un facteur de l'environnement présentant un intérêt national Très forte et permanente perturbation du cadre de vie des riverains 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 l'état de conservation de son habitat. Destruction ou dégradation importante des eaux, susceptibles d'entraîner leur détérioration définitive ou l'abandon des usages

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 5 niveaux d'incidences négatives, il a été choisi dans cette étude d'impact de considérer que les trois niveaux négatifs les plus élevés correspondent aux incidences négatives notables.

1.1.6 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).

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

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

Les **mesures de compensation** ont pour objet d'apporter une contrepartie, en fonction des objectifs règlementaires édictés pour chacun des facteurs, aux incidences 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.

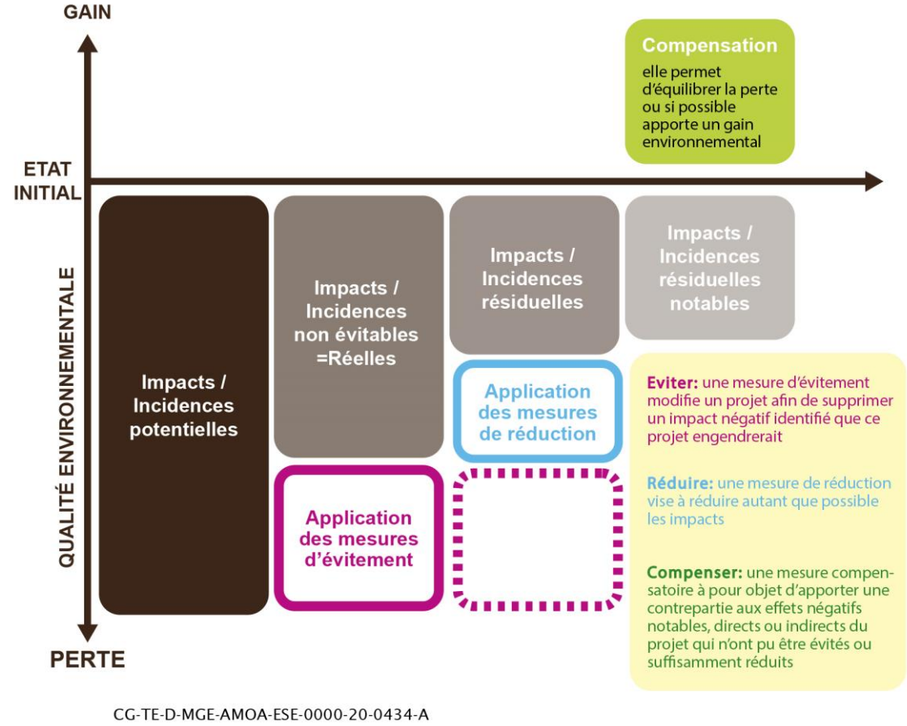


Figure 1-4 Démarche éviter réduire compenser

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 de 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.

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 ».*

La présente version de l'étude d'impact est associée au dossier d'enquête publique préalable à la DUP qui ne concerne que le centre de stockage Cigéo. C'est pourquoi l'étude fait ressortir parmi toutes les mesures proposées pour l'ensemble du projet global Cigéo, celles spécifiques à l'opération sous maîtrise d'ouvrage Andra et qui pourront être reprises dans les prescriptions associées au décret d'utilité publique.

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 :

1. **Incidences potentielles** : cette première étape présente succinctement les types incidences génériques que peut engendrer le projet global Cigéo ; elles sont appréciées au regard des enjeux identifiés dans l'état actuel, sur la base des premières esquisses du projet lorsque les éléments sont disponibles ou sur la base de retours d'expérience sur d'autres opérations similaires ; cette étape se conclut sur l'appréciation du caractère notable ou non de ces incidences génériques à l'échelle du projet global Cigéo ;
2. **Mesures d'évitement**, dont la définition est donnée au paragraphe précédent ;
3. **Incidences réelles** : 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 document), certaines incidences évoquées dans cette partie restent hypothétiques et seront affinées dans les actualisations ultérieures de l'étude d'impact ;
4. **Mesures de réduction**, dont la définition est donnée au paragraphe précédent ;
5. **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 déduites ; elle précise le niveau d'incidence selon la grille d'évaluation présentée au chapitre 1.1.5 du présent document, puis elle conclut sur les besoins (ou non) de mesures de compensation ;
6. **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 de perte nette de biodiversité et l'absence d'incidence notable du projet global Cigéo sur l'environnement, seront présentés dans les dossiers spécifiques d'autorisations de travaux.

1.2 Définition des aires d'étude

1.2.1 Typologie des aires d'étude

La caractérisation de l'état actuel 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 application du principe de proportionnalité du contenu de l'étude d'impact 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 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 susceptible d'être affectée par 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 m de part et d'autre de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo et des emprises envisagées pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage du projet global dont l'implantation ou les variantes d'implantation sont connues (voir chapitre 1.1.1).

  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), 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 des 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.
- **'aire d'étude éloignée,** qui varie en fonction des facteurs de l'environnement, correspond à la zone susceptible d'être impactée par tous les effets potentiels ou éloignés directs et indirects secondaires du projet global Cigéo. Cette aire d'étude a été définie en tenant compte de l'ensemble des incidences potentielles que pourraient avoir les installations, ouvrages, travaux et activités d'après les connaissances disponibles.

  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 impacts potentiels des différentes opérations du projet global 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 impacts transfrontaliers.

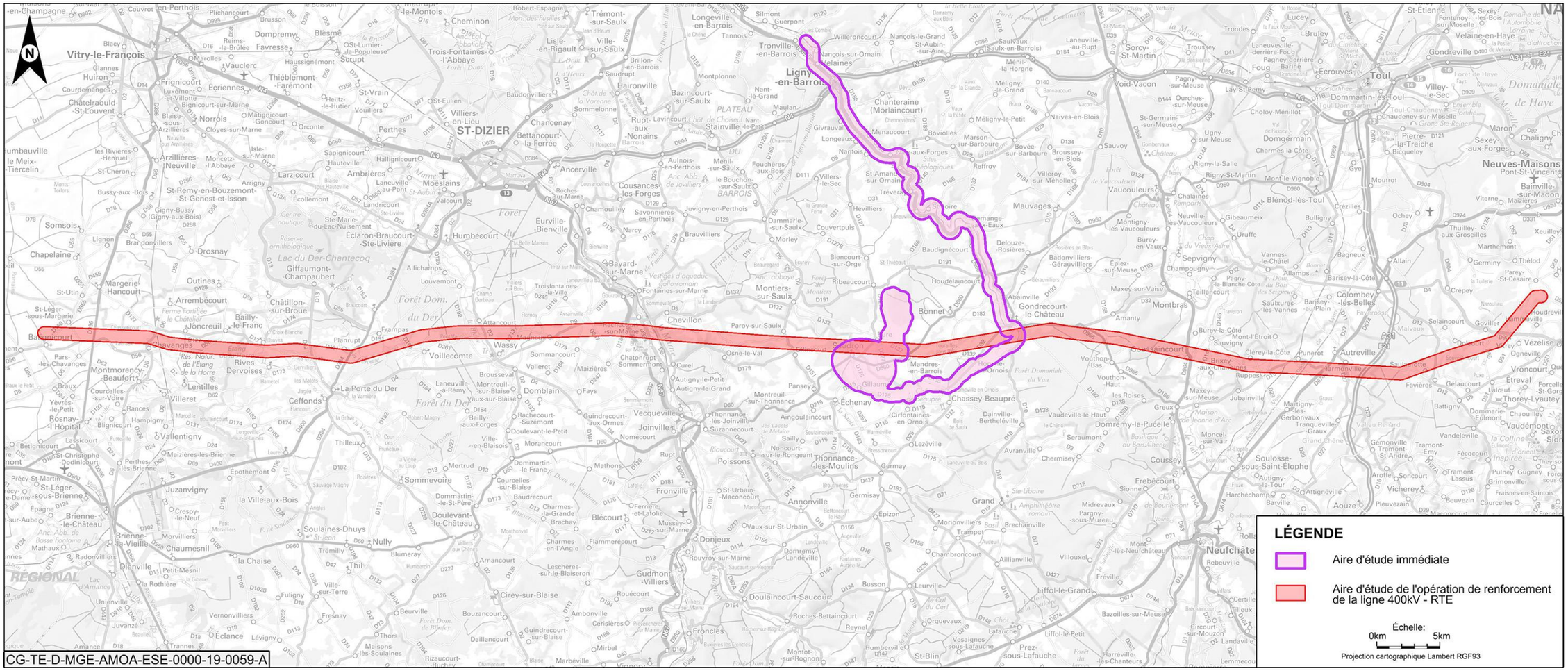


Figure 1-5 Aire d'étude immédiate et aire d'étude spécifique à l'opération de sécurisation de la ligne aérienne 400 kV

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 physique : atmosphère, sols, sous-sols, eaux

Du fait de leurs fortes interrelations, les aires d'étude sont communes à tous les facteurs qui décrivent le milieu physique : atmosphère, sol, sous-sol, eaux.

La liste des aires d'étude utilisées et leur description sont indiquées dans le tableau 1-3. Leur représentation est visible sur la figure 1-6.

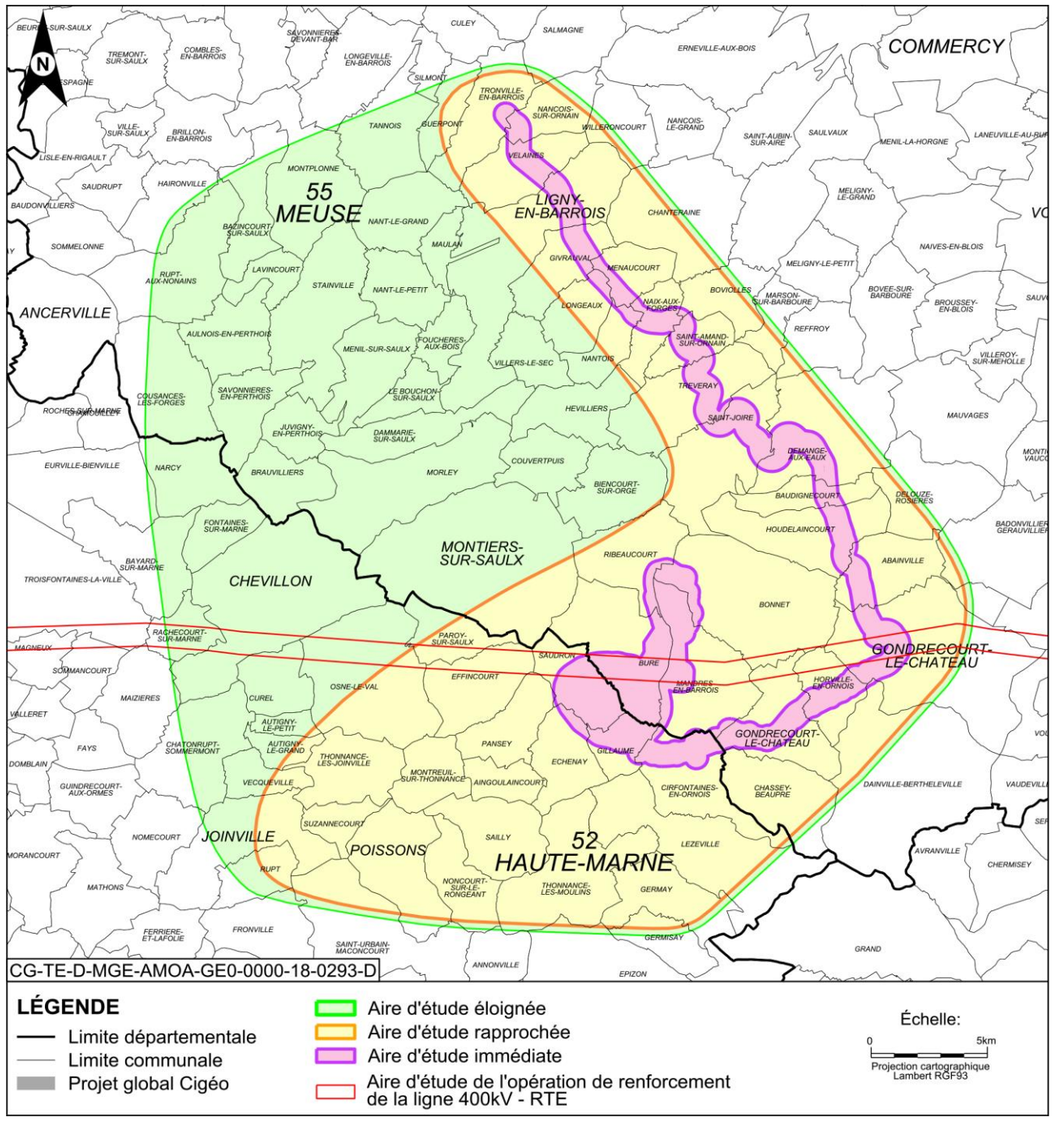


Figure 1-6 *Aires d'étude du milieu physique*

Tableau 1-3 Définition des aires d'étude du milieu physique

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 m de part et d'autre. Elle inclut le périmètre opérationnel en phase travaux et en phase de fonctionnement.	Cette aire d'étude correspond à la zone susceptible d'être affectée par les effets d'emprise des ouvrages et installations ainsi que par les perturbations liées aux travaux et activités dans la zone d'intervention potentielle et à sa proximité immédiate. Elle est utilisée pour la description des risques naturels liés au milieu physique.
Rapprochée	Aire d'étude incluant les communes d'implantation des infrastructures de surface du projet global Cigéo, et des 3 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	Aire d'étude qui s'étend sur une superficie d'environ 1 000 km². Cette aire est délimitée : au nord-ouest par le captage en eau potable de Rupt-aux Nonains et les périmètres de protection associés ; 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 de 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). Les éléments sont représentés au droit de la figure 1-7.	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 représentatives : la région Grand Est et le pays Barrois. Cette aire d'étude permet aussi la caractérisation des sols et du sous-sols indispensable à la sûreté de l'installation et à la connaissance des systèmes hydrauliques et hydrogéologiques en interrelation. 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. Cette aire tient compte (voir Figure 1-7) : 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 Marne) ; des usages déclarées de l'eau et des sens d'écoulement des masses d'eau de surface ou souterraine associées.
Ligne THT	Aire d'étude spécifique de la ligne THT qui s'étend sur 500 m de part et d'autre de la portion de ligne électrique de 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	

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 de et de sécurisation de ligne 400 kV est présentée dans une unique aire de 500 m de part et d'autre de la ligne et de manière plus générale que pour le projet global Cigéo.

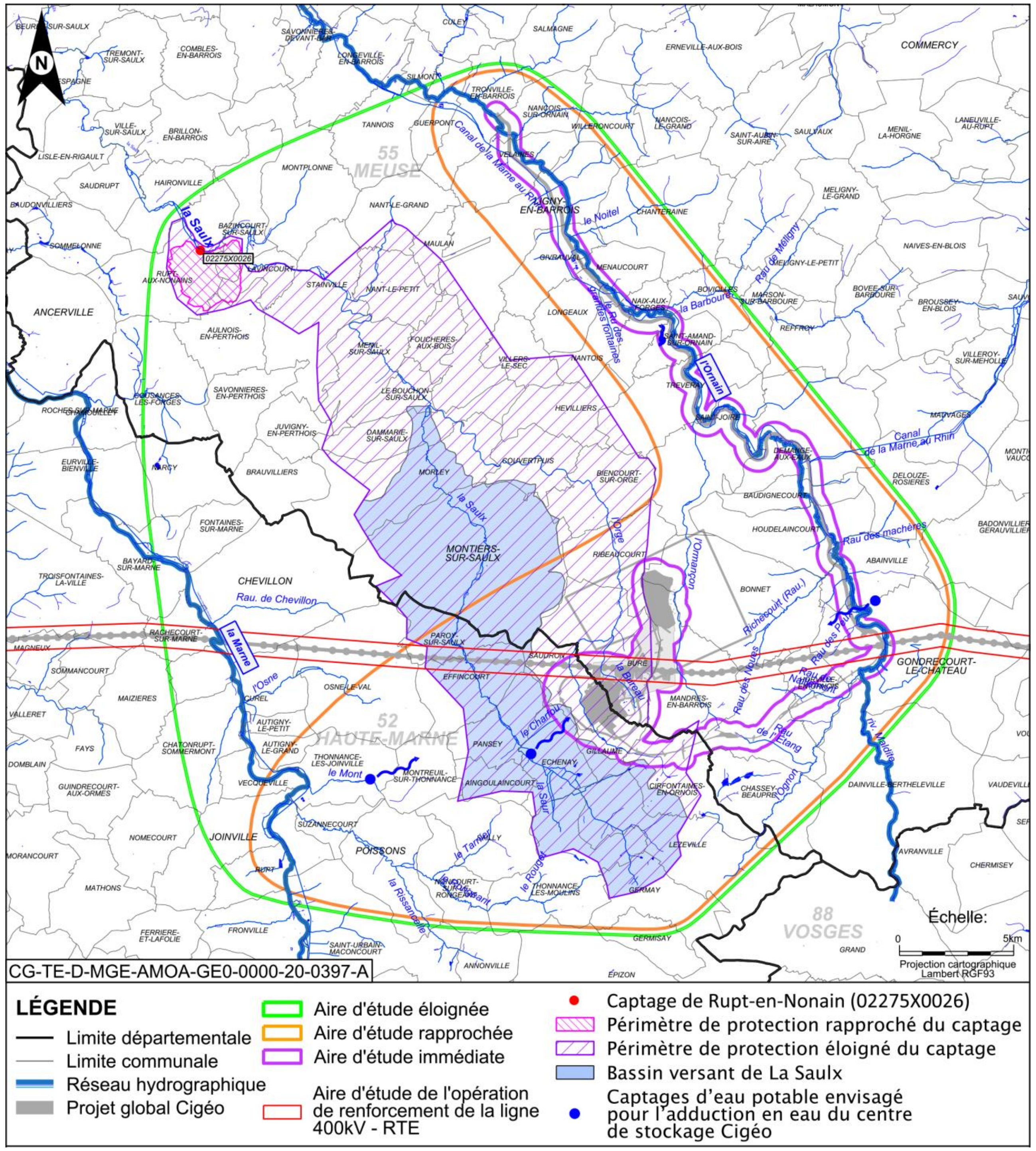


Figure 1-7 Définition des aires d'étude du milieu physique au regard de la thématique eau

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

Deux aires d'étude sont utilisées pour réaliser l'état actuel du milieu naturel. Celles-ci sont présentées dans le tableau ci-dessous et illustrées sur la figure 1-8.

Tableau 1-4 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 m de part et d'autre. Elle inclut le périmètre opérationnel en phase travaux et en phase de fonctionnement .	Cette aire d'étude correspond à la zone susceptible d'être affectée par les effets d'emprise des ouvrages et installations ainsi que par les perturbations liées aux travaux et activités dans la zone d'intervention potentielle et sa proximité immédiate. Elle est utilisée pour acquérir une connaissance détaillée du milieu grâce à des inventaires de terrain (habitats naturels, faune et flore).
Éloignée	Aire d'étude 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.
Ligne THT	Aire d'étude spécifique de la ligne THT qui s'étend sur 500 m 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 Chapitre 3.5.1 du Volume I, 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.

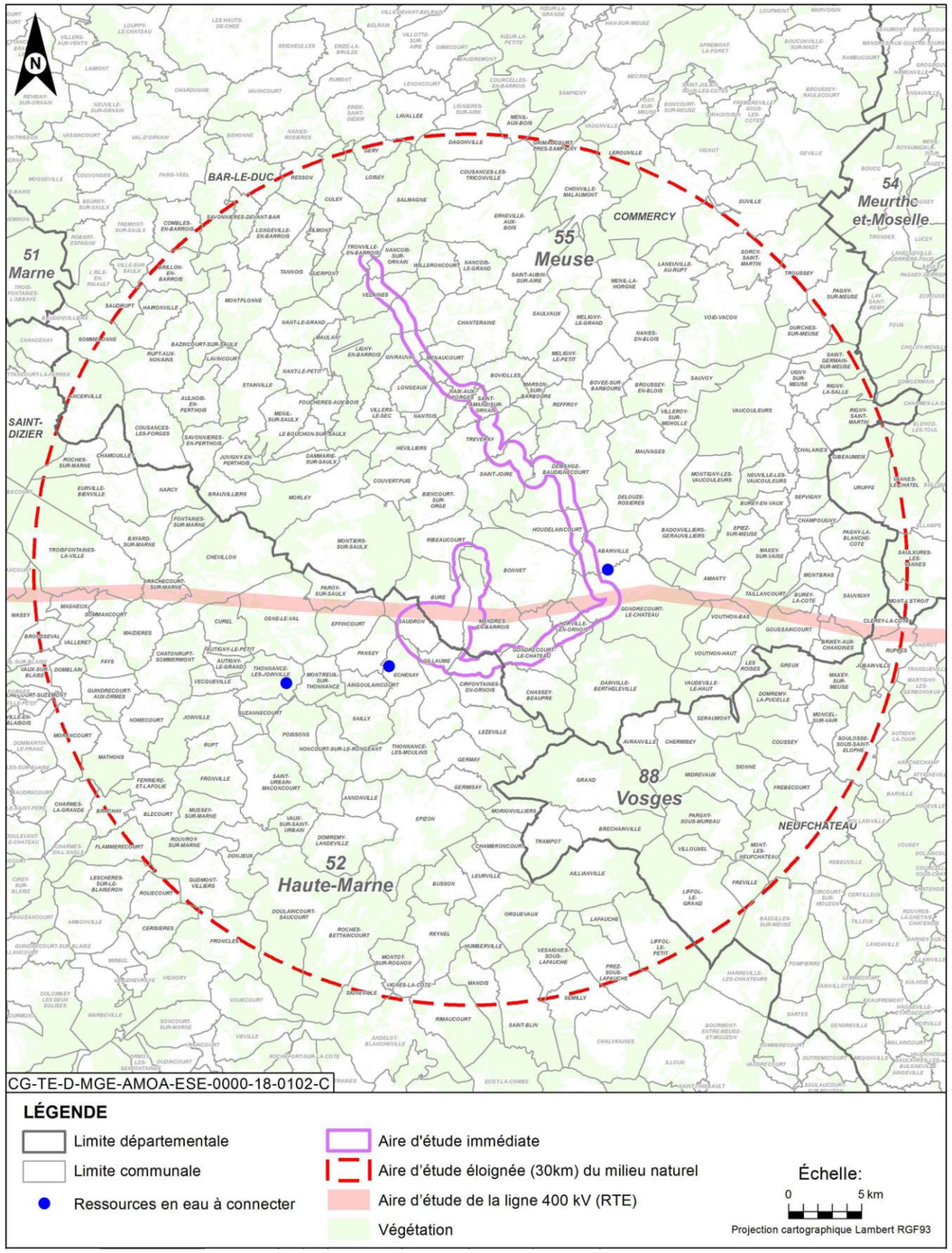


Figure 1-8 Aires d'étude du milieu naturel

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

Le chapitre suivant présente les aires d'étude des facteurs suivants qui participent à la description du milieu humain : 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 1-5).

Tableau 1-5 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 m de part et d'autre. Elle inclut le périmètre opérationnel en phase travaux et en phase de fonctionnement .	1. 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. 2. 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 celui-ci). 3. Cette aire d'étude comprend les travaux de rétablissement des réseaux interceptés (réseau électrique, téléphonique, eau et assainissement et réseaux divers ...) ou créés. 4. 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 stockage. 5. 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 (exemple : 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 sont recensés. 6. Cette aire permet une analyse ciblée des effets directs sur les infrastructures perturbées par les différentes opérations du projet et donc à rétablir. 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 fortement. 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 de vie : aire d'étude du projet global Cigéo à l'échelle de l'aire de modélisation du trafic	1. Cette aire d'étude intègre déplacements domicile-travail et approvisionnements locaux notamment.

Aire d'étude	Description	Justification
	routier incluant la ligne ferroviaire 027000. Cette aire s'étend de Comercy au nord, Bologne au sud, Thuilley-aux-Groseilles à l'est et Joinville à l'ouest.	2. 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 économiques : aire d'étude du projet global Cigéo de 50 km autour du centre de stockage	1. 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 ; 2. Cette aire intègre les commerces et entreprises à proximité des autres opérations du projet global dont la fréquentation pourrait augmenter durant les phases travaux
	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.	3. 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 toute entière.	1. 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 toute 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 THT concernée par les travaux de sécurisation. 2. 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. 3. 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'Egalite des Territoires (SRADDET). Les déchets non gérés à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée sont traités majoritairement à l'échelle régionale. 4. 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. 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 MA-VL et HA 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).

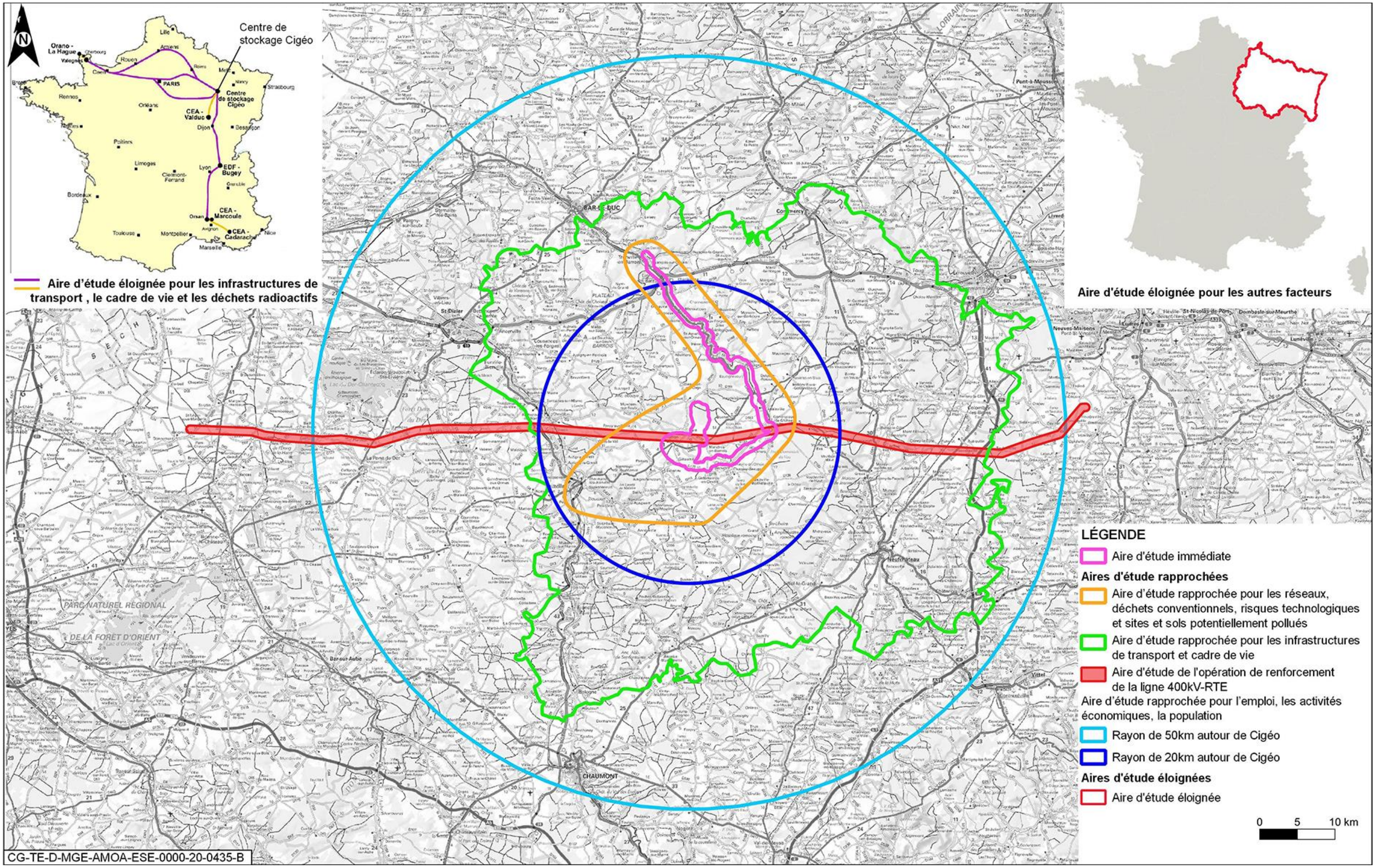


Figure 1-9 Aires d'étude du milieu humain

1.2.2.4 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 1-6 et sur la figure 1-10.

Tableau 1-6 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.	5. 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 7 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 2 communes sur lesquelles les surfaces boisées sont prélevées : Bonnet et Mandres-en-Barrois.	1. 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 RD60/960.
Éloignée	Aire d'étude à l'échelle des départements de la Haute-Marne et de la Meuse.	1. 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. 2. Un zoom est fait sur le territoire regroupant les 4 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).
Ligne THT	Aire d'étude spécifique de la ligne THT qui s'étend sur 500 m de part et d'autre de la portion de ligne électrique 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	

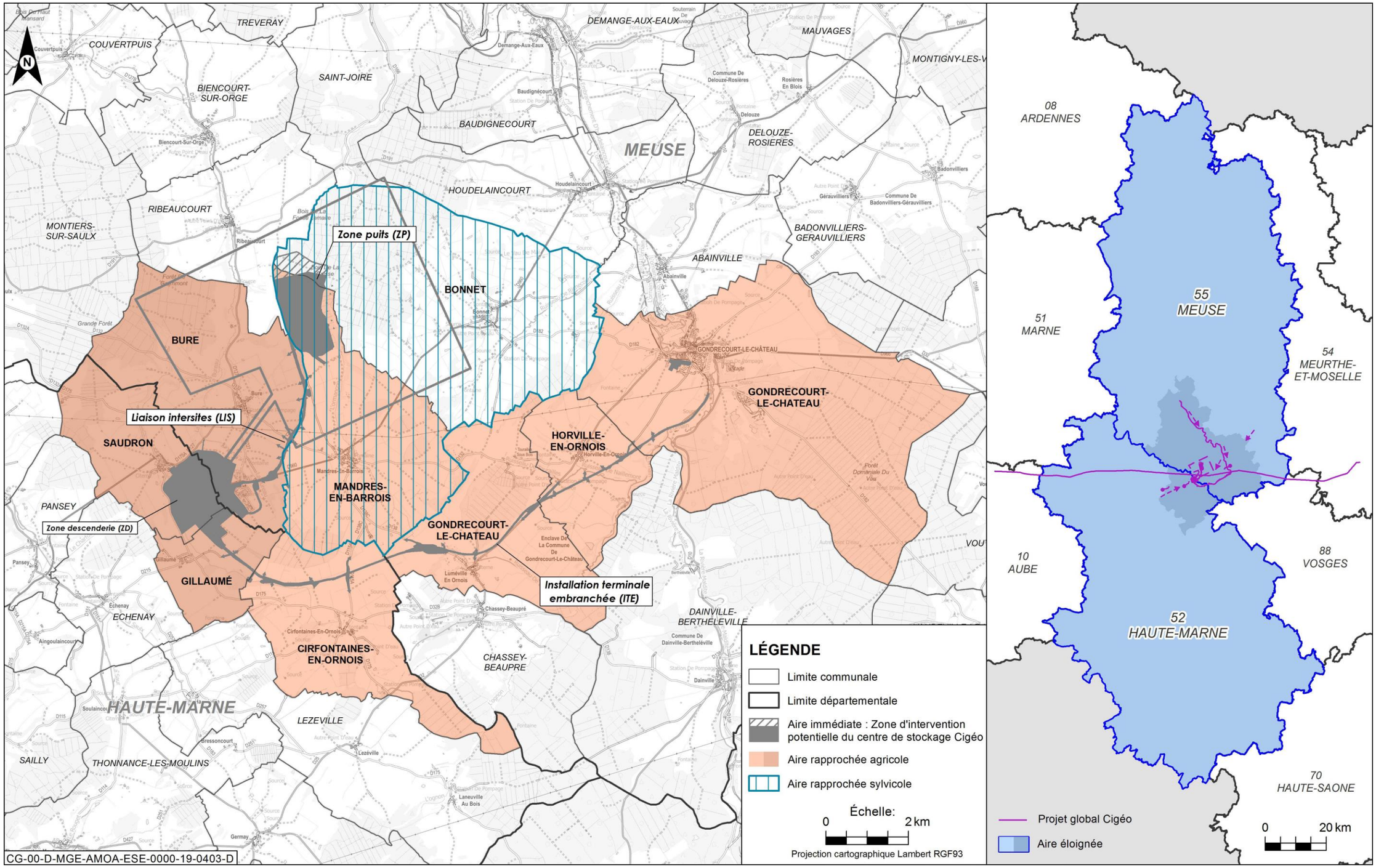


Figure 1-10 Aires d'étude des activités agricoles et sylvicoles

1.2.2.5 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 1-3.

Tableau 1-7 Définition des aires d'étude du milieu physique

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 m de part et d'autre. Elle inclut le périmètre opérationnel en phase travaux et en phase de fonctionnement .	Cette aire d'étude correspond à la zone susceptible d'être affectée par les effets d'emprise des ouvrages et installations ainsi que par les perturbations liées aux travaux et activités dans la zone d'intervention potentielle et à sa proximité immédiate. Cette aire d'étude est adaptée au recensement : 1. Des périmètres de protection des monuments historiques (généralement de 500 m autour du monument) traversés par les opérations du projet global Cigéo, 2. Des éventuels sites classés/sites inscrits.
Rapprochée	Paysage Aire d'étude du projet global Cigéo incluant les communes d'implantation des infrastructures de surface du projet global Cigéo depuis lesquelles le projet est susceptible d'être visible.	Cette aire d'étude permet d'évaluer les modifications substantielles apportées par le projet global Cigéo sur le paysage. Ces modifications incluent notamment les effets de co-visibilité avec les nouvelles installations du projet global qui sont vite masquées par le relief et la végétation.
	Patrimoine culturel, tourisme et activités de loisir Aire d'étude du milieu physique incluant les communes d'implantation des infrastructures de surface du projet global Cigéo, et des 3 captages participant à l'adduction en eau du centre de stockage Cigéo avec leurs périmètres de protection associés.	Cette aire d'étude permet d'identifier tous les sites patrimoniaux et activités de loisir susceptibles d'être impactés par le projet global Cigéo.
Éloignée	Aire d'étude du projet global Cigéo qui reprend la région Grand Est et ses grandes structures paysagères.	Cette aire d'étude permet de recenser les grandes familles géomorphologiques (plaine, vallée, plateau, montagne et côte) dans lesquelles s'implante le projet global Cigéo.
Ligne THT	Aire d'étude spécifique de la ligne THT qui s'étend sur 500 m de part et d'autre de la portion de ligne électrique 124 km concernée par les travaux de sécurisation.	

1.2.2.6 Définition des aires d'étude pour les interactions

Les interactions et services écosystémiques ont été évalués à travers deux aires d'étude (cf. Figure 16-1).

La liste des aires d'étude utilisées et leur description sont indiquées dans le tableau 1-3.

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

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 m de part et d'autre. Elle inclut le périmètre opérationnel en phase travaux et en phase de fonctionnement .	Cette aire d'étude correspond à la zone susceptible d'être affectée par les effets d'emprise des ouvrages et installations ainsi que par les perturbations liées aux travaux et activités dans la zone d'intervention potentielle et à sa proximité immédiate. Elle permet l'analyse interrelations 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 permet d'observer le contexte des interactions et services écosystémiques dans lequel s'insère le projet global Cigéo.

2

Atmosphère - Méthodes

2.1 La caractérisation du milieu atmosphérique 26
2.2 Acquisition des données atmosphériques 26
2.3 Émissions de gaz à effet de serre 29
2.4 Évaluation des incidences sur la qualité de l'air 31

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, varie à de nombreuses échelles spatio-temporelles sous l'effet de processus naturels, mais également de perturbations anthropiques. Les fluctuations météorologiques locales dépendent de processus 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 impacts potentiels nécessite de mettre sur pied 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 Global 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 (2). 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

2.2 Acquisition des données atmosphériques

2.2.1 Les données météorologiques utilisables

La conception d'un projet de l'ampleur du centre de stockage Cigéo nécessite de disposer de données fiables pour le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales. 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 et qui est située à 35 km du centre de stockage Cigéo ;
- la station atmosphérique d'Houdelaincourt implantée par l'Andra dispose de relevés depuis 2011 (cf. Figure 2-1 et la Figure 2-2), et est installée plus proche à environ 10 km à l'est du centre de stockage Cigéo ;
- la station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois installée à environ 5 km au Sud de la zone descenderie qui enregistre uniquement les données de précipitations et de températures.

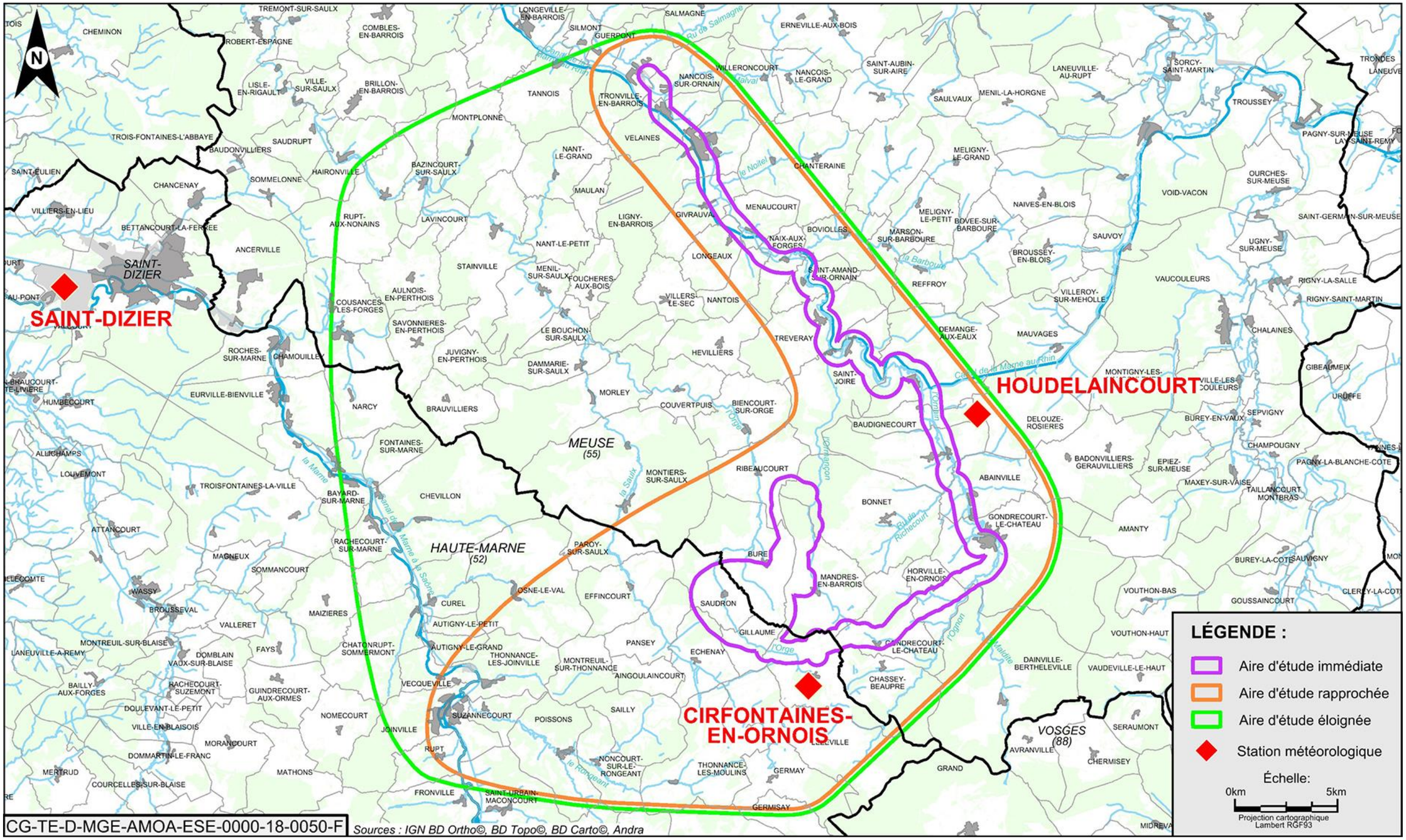


Figure 2-1 Localisation des stations météorologiques d'Houdelaincourt, de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois

2.2.2 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 1 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 du projet global Cigéo et à 139 m d'altitude, la station de Saint-Dizier est située dans un contexte topographique différent du plateau barrois. Les statistiques climatiques ainsi que les observations météorologiques seront influencées par cette différence de contexte. La station de Saint-Dizier seule ne peut donc pas être considérée comme représentative pour l'établissement des statistiques climatiques.

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

» RÉSEAU RADOME

Les stations météorologiques professionnelles du réseau de Météo-France, appelé réseau RADOME, 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 6 minutes, toutes les heures ou une fois par jour selon les paramètres et les besoins, au centre Météo-France de Toulouse.

source : **http://www.meteofrance.fr**

2.2.3 La station météorologique et atmosphérique d'Houdelaincourt

L'Andra a implanté la station atmosphérique sur les hauteurs de Houdelaincourt (Meuse), 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 Elle permet un suivi permanent et continu de la qualité de l'air et des conditions météorologiques.

Elle fait d'ores et déjà partie intégrante :

- de l'observatoire pérenne de l'environnement de l'Andra ;
- du réseau des stations agrées Météo-France ;
- du réseau de surveillance de la qualité de l'air en Lorraine (Air-LOR) ;
- 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 (European Integrated Carbon Observation System, ICOS) qui regroupe de nombreux autres acteurs scientifiques.

Les données de la station atmosphérique de Houdelaincourt (cf. Figure 2-2) alimentent ainsi chercheurs et institutionnels 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 champ 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 km²) 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 m 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.

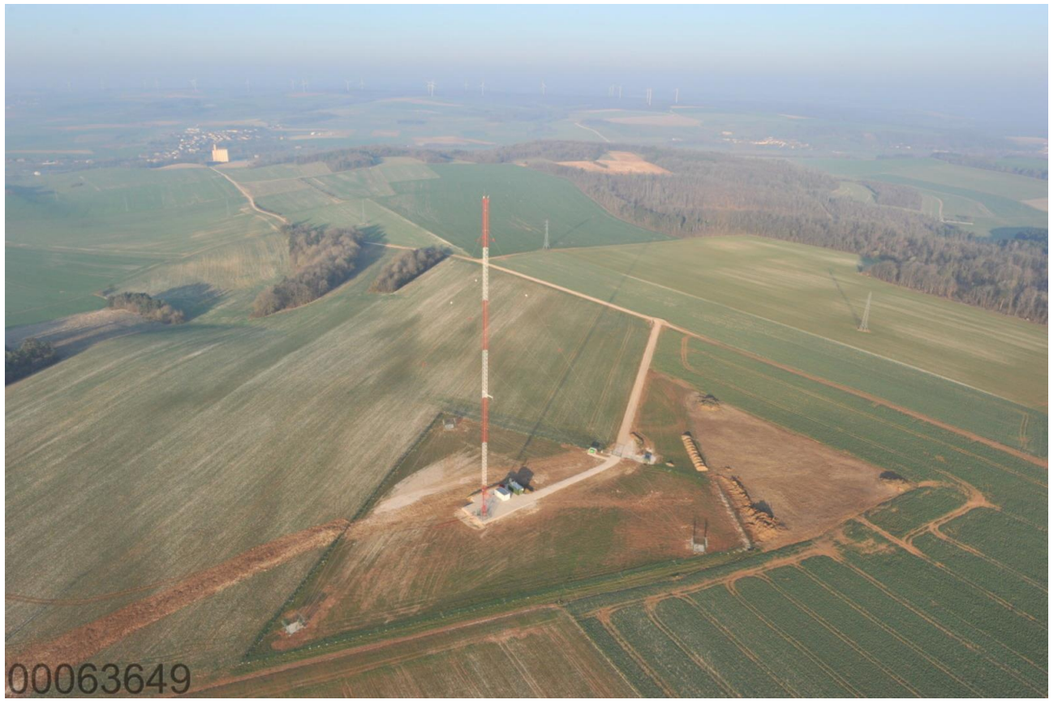


Figure 2-2 *Photographie aérienne illustrant la station atmosphérique de Houdelaincourt et son environnement proche*

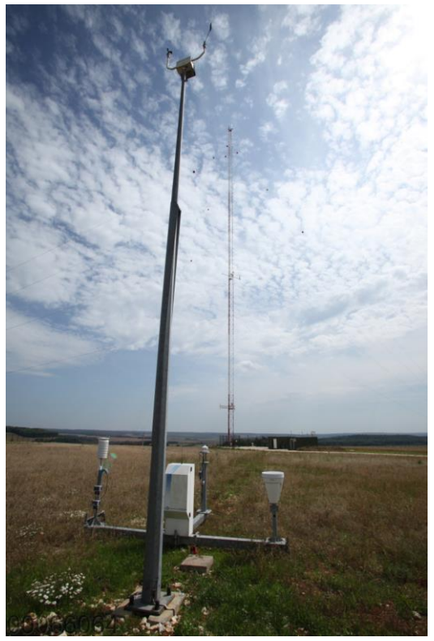


Figure 2-3 Station météorologique d'Houdelaincourt

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	1h/1 jour	RADOME/Météo-France
Température	Sonde PT 100 Pyrocontrole	1 m	1 s/6 min/1 h	RADOME/Météo-France
Vent à 10 m 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.

» HOUDELAINCOURT, STATION DE RÉFÉRENCE

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 actuel CO_2, CH_4, N_2O est réalisée dans le cadre d'une collaboration avec le CEA/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 m, 50 m et 120 m 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_2.CH_4. Pour le N_2O, le choix s'est porté sur un analyseur basé sur la technologie ICOS off-axis permettant également des mesures des concentrations traces/bas niveaux en CO.

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.

2.2.4 La station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois

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

Cette station météorologique mesure la température et les précipitations.

2.3 Émissions de gaz à effet de serre

2.3.1 Méthode du bilan carbone

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. L'article L. 100-4 du code de l'énergie, relatif à la transition énergétique pour la croissance verte précise que la politique énergétique nationale a pour objectifs de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 40 % entre 1990 et 2030 et de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050. Ces objectifs s'inscrivent dans la démarche portée par l'Accord de Paris de 2015. Cet accord vise en effet à maîtriser les émissions de gaz à effet de serre pour contribuer à la réponse mondiale à la menace du changement climatique et à limiter l'augmentation de la température mondiale à un niveau bien inférieur à 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre les efforts pour limiter encore davantage l'augmentation de la température à 1,5 degré Celsius.

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 ($TéqCO_2$) :

Données (KWh, tonnes de carburants, tonnes d'acier…) X 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 ;
- fin de vie, correspondant au démantèlement du site.

2.3.2 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 (EFESE, 2019) et du rapport de l'état des sols de France (Gis Sol, 2011). 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 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 (Gis Sol, 2011), les stocks de carbone actuels dans les 30 premiers cm 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, et les RRP de la Haute-Marne et de la Marne fournis par l'unité InfoSol de l'INRAE ;
- la carte d'occupation des sols : Corine Land Cover 2018.

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 TRÈS FORTE comme indiqué dans le tableau 2-3. Les calculs des surfaces concernées par ces différents niveaux de séquestration carbone ont ensuite été réalisés grâce au logiciel QGIS v3.10.

2.4 Évaluation des incidences sur la qualité de l'air

2.4.1 Choix des polluants

La liste des polluants étudiés dans l'étude d'impact (cf. Tableau 2-4) repose sur les polluants susceptibles d'être générés par le projet global Cigéo au regard de ces activités et les polluants couramment suivis et cités dans les articles R. 221-1 et suivants du code de l'environnement (codifiant le décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 (3) 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).

Tableau 2-4 Polluants suivis dans le cadre de l'étude

Polluant	Symbole
Oxydes d'azote, dioxyde d'azote	NO_x, NO_2
Oxydes de soufre, dioxyde de soufre	SO_2, SO_x
Ozone	O_3
Monoxyde de carbone	CO
Particules en suspension (poussières)	PM_{10}
	$PM_{2,5}$
Composés Organiques Volatils (benzène)	C_6H_6

Famille	Polluant	Symbole
HAP	Benzo(a)pyrène	B(a)P
Métaux	Arsenic	As
	Plomb	Pb
	Cadmium	Cd
	Nickel	Ni

2.4.2 État actuel

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 des relevés effectués à la station atmosphérique d'Houdelaincourt décrite au chapitre 2.2 du présent document.

Ces concentrations en polluant 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 critères nationaux d'évaluation définit à l'article R. 221-1 sont les suivants :

- les **objectifs de qualité** correspondent à un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée ;
- les **valeurs limite** se définissent comme un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixées sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé ou l'environnement ;
- les **seuils d'alerte** sont un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation pour l'environnement, et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.
- les **seuils d'information** correspondent à un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère dont le dépassement engendre des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles en cas d'exposition de courte durée.

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

2.4.3 Méthode d'acquisition des données sur la qualité de l'air

Les méthodes analytiques utilisées pour obtenir les concentrations annuelles ou journalières des polluants précitées sont indiquées dans le tableau 2-5 et le tableau 2-6.

Tableau 2-5 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/1h	AIR LORRAINE

La quantification des métaux lourds règlementés (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 2-6).

Tableau 2-6 Méthode analytique utilisée pour la mesure des métaux lourds (Pb, As, Ni, Cd)

Polluants	Fréquence d'échantillonnage	Préleveur de particules	Analyse	Laboratoire
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 Savoir Mont Blanc et TERA environnement
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 Savoir 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 2-7) 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 bezène sont déterminées par l'intermédiaire de tubes passifs de type « Radiello ».

Tableau 2-7 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

2.4.4 Modèle de dispersion atmosphérique

2.4.4.1 Présentation du logiciel de modélisation « Aria impact » et hypothèse retenues

La modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants conventionnels a été réalisée à partir du logiciel ARIA Impact™ (4) 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 (5) ; Aria Technologies, 2009 (4)).

ARIA Impact™ (4) est donc un modèle de type « gaussien », conforme aux recommandations de l'Agence de l'environnement américain (Environment Protection Agency - E.P.A). 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 INERIS : évaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'Étude d'Impact des ICPE (6)).

ARIA Impact™ (4) 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™ (4) est présentée figure 2-4.

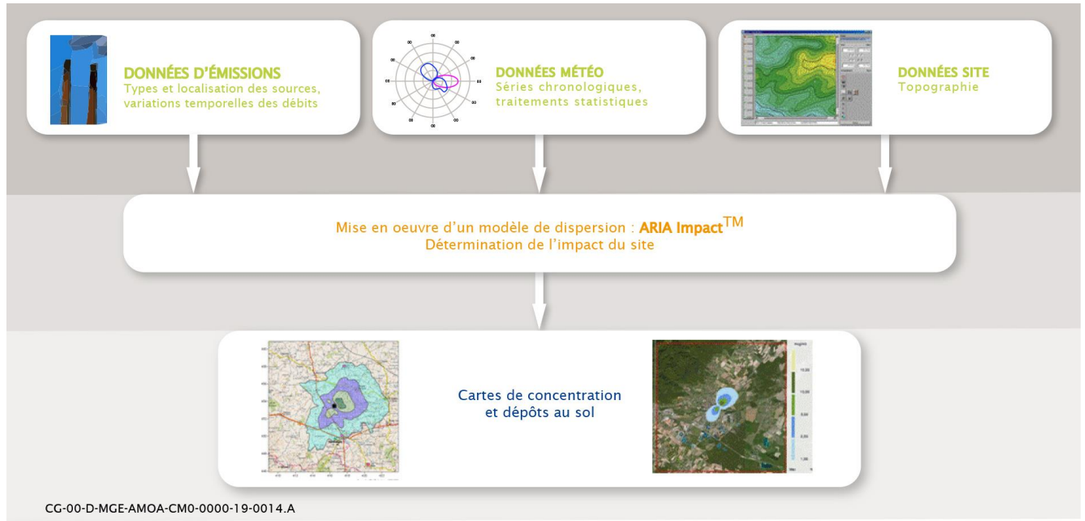


Figure 2-4 Démarche mise en œuvre par le logiciel ARIA Impact™

a) Polluants et hypothèses retenus pour la modélisation

Les polluants retenus pour l'étude d'incidence sur la qualité de l'air en phase de fonctionnement sont 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.

La modélisation de dispersion atmosphérique (cf. volume IV) porte sur un carré de 16 km de côté autour de la source (zone puits et zone descenderie). Cette surface de modélisation est suffisante pour couvrir la zone d'influence des impacts.

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

- « linéiques » : caractérisées par les émissions diffuses provenant des véhicules légers et lourds ;
- « surfaciques », caractérisées par des émissions diffuses provenant des zones de stockage et des zones de circulation des engins de chantier ;
- « ponctuelles » pour les rejets canalisés (émissaires).

Les caractéristiques des sources retenues sont précisées dans l'annexe 2.

Les données météorologiques « horaire » de la station d'Houdelaincourt ont été utilisées. Ces données couvrent la période du 1er janvier 2012 au 31 mai 2017. 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.

Dans une approche enveloppe, afin de comparer les émissions aux valeurs seuil règlementaires :

- la totalité des émissions en poussières a été assimilée d'une part à des émissions des PM_{10} et d'autre part à des émissions de $PM_{2,5}$;
- la totalité des émissions en oxydes d'azote a été assimilée à des émissions de dioxyde d'azote (NO_2) (valeur règlementée) ;
- les émissions de composés organiques volatiles(COV) provenant des gaz d'échappement ont été assimilées à du benzène en faisant l'hypothèse majorante que celui-ci était présent dans le carburant à hauteur de 5 % alors que la réglementation indique un pourcentage de 1% (directive n° 98/70/CE du 13/10/98 concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel et modifiant la directive 93/12/CEE du Conseil (7)).

Ces hypothèses amènent à une surestimation des concentrations en polluants obtenus via la modélisation.

L'année modélisée, l'année 2035, est représentative de la phase de fonctionnement.

Les émissions du train circulant le long de la voie SNCF Réseau et le long de l'installation terminale embranchée n'ont pas été intégrées aux modélisations. Néanmoins la fréquence de passage des trains est suffisamment faible (cf. volume IV, chapitre 5.1 et 12.1.2.3) pour négliger les émissions associées à ces derniers.

b) Polluants non retenus

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, n'ont pas fait l'objet de modélisation en phase 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) et, a fortiori, à celle liée à la pollution industrielle.

  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)**

  En France la source principale d'émission de HAP est le chauffage industriel (66 %) suivis du trafic routier (25 %). Le chauffage sur le centre de stockage Cigéo ne fonctionnera pas à partir de fioul. La source principale d'émission de HAP sera donc le trafic.

  En Ile-de-France, des mesures de benzo(a)pyrène effectuées par AirParif ont montré qu'en 2012, les concentrations moyennes annuelles relevées étaient bien en deçà de la valeur cible européenne de 1 ng/m³ y compris du au niveau du boulevard périphérique.

  Les flux de trafic générés par le projet global Cigéo, loin d'être aussi élevés, ne sont pas de nature à engendrer un dépassement des valeurs seuils de benzo(a)pyrène.

- **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 tel 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.

3

Sols - Méthodes

3.1 Géomorphologie 36
3.2 Occupation du sol 36
3.3 Pédologie 36

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.

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 5 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. CLC 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 1/250000, 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. 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 1/50000 réalisée par l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE) en 2019 sur une zone plus petite, d'environ 320 km^2, mais plus précise que le RRP du Grand Est. Cette carte est utilisée pour établir l'état actuel 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 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 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 km^2, 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 actuel 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 la macrofaune, tel que des insectes et des petites araignées) du sol.

4

Sous-sol - Méthodes

4.1 Campagnes de reconnaissance de site 40
4.2 Risques naturels de mouvements de terrain 40

4.1 Campagnes de reconnaissance de site

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 formation hôte du Callovo-Oxfordien ainsi que l'absence de faille. En 2007, un forage a été réalisé jusqu'à la profondeur de la formation du Trias (2000 m), 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 réalisées pour caractériser la chimie des eaux interstitielles (pH, ions majeurs, alcalinité…) et la dynamique 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 souterrain) 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 confirmer que la couche argileuse du Callovo-Oxfordien est régulière avec une épaisseur supérieure à 130 m et une géométrie conforme à l'histoire et aux environnements géologiques de l'époque. La présence d'hétérogénéités structurales (failles) a notamment été recherchée à partir de ces méthodes qui ont confirmé qu'aucune hétérogénéité structurale n'est présente ni dans la couche 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 et G2 sur la zone descenderie et G1 EDS sur l'installation terminale embranchée, Ces études géotechniques ont pour but d'analyser la structure du sol et du sous-sols 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 (8) qui définit notamment le niveau d'investigation selon l'avancement du projet.

Des nombreuses investigations et expérimentations scientifiques réalisées au Laboratoire souterrain du Centre 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 fin 2019, 1112 forages ont été réalisés dans le Laboratoire souterrain). 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 souterrain depuis sa création sont confrontées à celle issues des autres campagnes de caractérisation venant conforter et consolider, à différentes échelles d'observations, le modèle géologique.

Chaque échantillon prélevé est référencé dans une base de données (GEO) qui liste le type de mesure réalisée sur celui-ci et les résultats d'analyse. Au total, à fin 2019, plus 65 000 échantillons solides et 14 000 échantillons de fluides ont été collectés.

Durant tout le creusement des puits du Laboratoire 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 naturelles et d'en évaluer l'incidence sur les circulations de fluides. Les observations réalisées depuis le début du creusement des puits confirment les données sédimentaires et tectoniques déjà acquises par les forages et fournissent des données structurales quantifiées précises qui confortent le modèle géologique.

4.2 Risques naturels de mouvements de terrain

Le recensement des risques de mouvement de terrain a été réalisé grâce à la consultation des documents suivants :

- les Dossiers Départementaux des Risques Majeurs (DDRM) de la Meuse et de la Haute-Marne ;
- la banque de données du sous-sol (BSS) du BRGM ;
- le site internet Géorisques qui répertorie tous les risques naturels et technologiques en France.

Le risque sismique a été étudié grâce à :

- aux publications scientifiques sur la tectonique européenne ;
- aux chroniques historiques des tremblements de terre ;
- aux campagnes de forages et études sismiques réalisées pour l'Andra ;
- au réseau d'écoute sismique décrit au volume III.

5

Eaux - Méthodes

5.1 Eaux souterraines 42
5.2 Eaux superficielles 48
5.3 Disponibilité durable de la ressource en eau 82

5.1 Eaux souterraines

5.1.1 Définition du système hydrogéologique

5.1.1.1 Règlementation et exigences

Un inventaire des règlementations et des exigences a été réalisé sur toutes les communes circonscrites dans l'aire d'étude éloignée définie pour l'analyse des milieux physiques du projet global Cigéo.

Avant son annulation, le référentiel règlementaire était notamment l'annexe 2 du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2016-2021, laquelle précise les objectifs retenus par masse d'eau. L'annexe 7 du même SDAGE informe sur les points de prélèvement sensibles à la pollution diffuse et sur les captages prioritaires (dont celui de Rachecourt-sur-Marne, Chevillon, Thonnance-lès-Joinville, Échenay, Bonnet, Baudignécourt, Biencourt-sur-Orge, Montiers-sur-Saulx, Chassey-Beaupré, Gondrecourt-le-Château).

Le même type de travail a été entrepris pour l'aire d'étude de la ligne électrique 400 kV dans le cadre des travaux de sécurisation. Son extrémité ouest jusqu'à Gondrecourt-le-Château est aussi concernée par le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2016-2021 tandis que son extrémité est se localise dans le SDAGFE Rhin-Meuse 20106-2021.

5.1.1.2 Définition de l'aire potentielle d'influence des installations de surface et des liaisons surface-fond sur les eaux souterraines

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 implantés 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 formation argileuse et imperméable du Callovo-Oxfordien.

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

Les installations de surface du centre de stockage Cigéo seront 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'injection :

- 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-Nonains ;
- 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 éloignée ; 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.

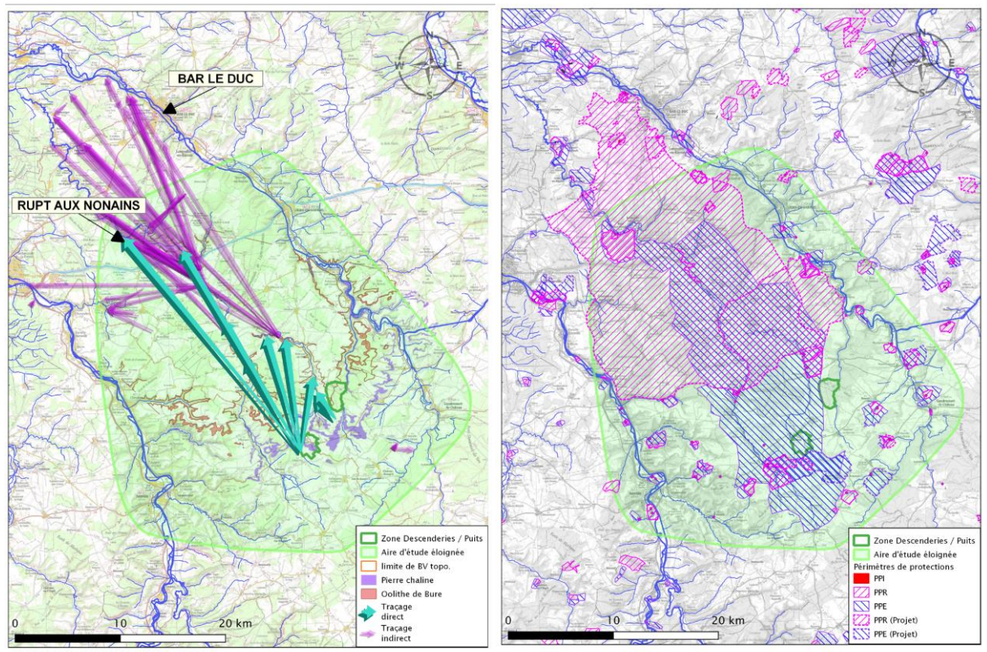
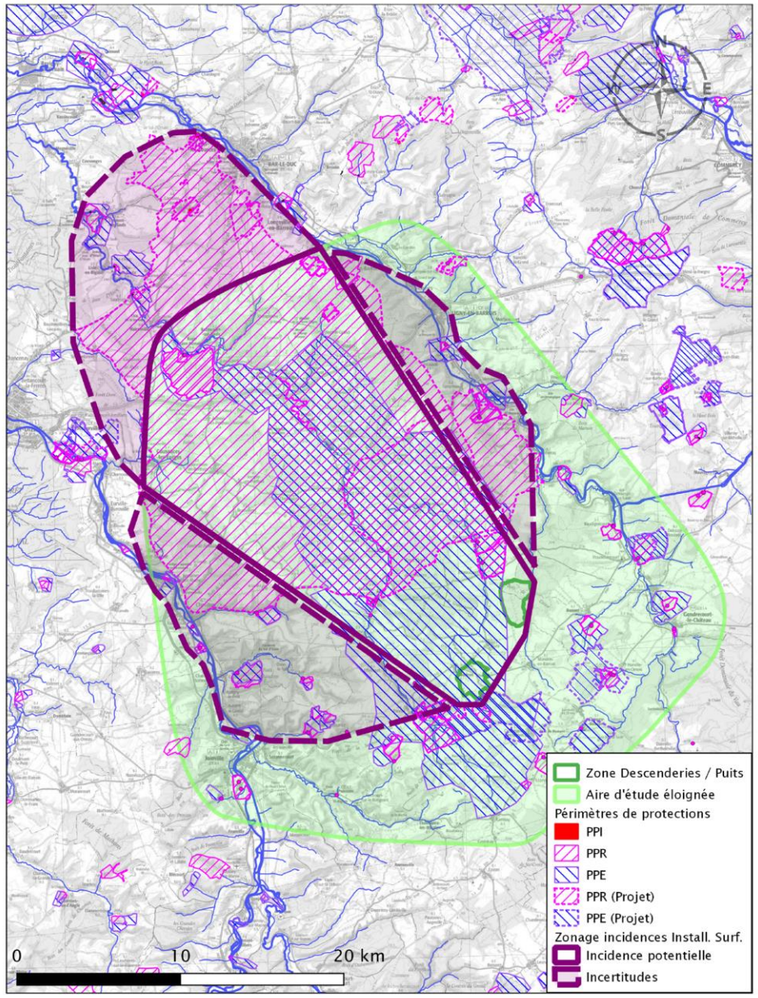


Figure 5-1 *À gauche : traçages hydrogéologiques et directions globales des écoulements dans les Calcaires du Barrois depuis la zone descenderie ; à droite : protection réglementaire des captages AEP (PPI : périmètre de protection immédiat ; PPR : périmètre de protection rapproché ; PPR périmètre de protection éloigné) dans l'aire d'étude éloignée*

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 (cf. Figure 5-2) 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 AEP de Rupt-aux-Nonains qui correspond au point de restitution direct le plus au nord, on a pu établir, par traçage en période de basses eaux, un facteur de dilution de l'ordre de 10^8, cohérent avec l'extension de l'aire d'étude éloignée.

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. 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.



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-21-0330-B

Figure 5-2 *Tracé de la zone potentielle d'incidence (et incertitudes associées en pointillés) des installations de surfaces ZD et ZP du projet Cigéo) sur les eaux souterraines des Calcaires du Barrois*

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 au plus, comme cela est observé autour des puits du Laboratoire souterrain. Elle ne modifierait pas le fonctionnement des captages AEP 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.

5.1.1.3 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).

Le réseau de piézomètres et de forages réalisés dans le cadre des différentes campagnes de caractérisation/surveillance pour le laboratoire Meuse Haute-Marne ou pour le projet global Cigéo ont permis de consolider localement les connaissances les différents aquifères rencontrés au droit de l'aire d'étude éloignée.

L'aquifère présent à l'affleurement a fait l'objet d'une description et du suivi le plus détaillé car il sera la principale 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.

5.1.1.4 Recensement et méthode d'analyse des objectifs des SDAGEs

Compte tenu de l'annulation de la version du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers Normands 2016-2021 par le Tribunal Administratif de Paris en décembre 2018 mais aussi le projet de SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2022-2027 (adopté par le Comité de bassin du 14 octobre 2020), l'Andra a effectué une double analyse de la compatibilité du projet global Cigéo avec les grilles d'objectifs et de défis de cette version annulée, de la version restée en vigueur, soit la version SDAGE du bassin Seine-Normandie 2010-2015 (cf. Tableau 5-1) L'ANDRA a également pris en compte le projet de SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2022-2027 (adopté par le Comité de bassin du 14 octobre 2020) en réalisant également une analyse de la compatibilité du projet aux objectifs de celui-ci.

La méthodologie utilisée par l'Andra est la vérification point par point des dispositions, des orientations, des défis du SDAGE applicable (cf. volume III et volume IV de la présente étude d'impact).

Tableau 5-1 *Documents analysés pour la vérification de la compatibilité du projet global Cigéo avec le SDAGE concerné*

Milieux concernés	SDAGE 2010-2015	SDAGE 2016-2021
Masses d'eau de surface	Objectifs de l'annexe 4 Objectifs de l'annexe 5 Objectifs de l'annexe 7 Objectifs de l'annexe 8	Liste et contenus des orientations, des défis et des dispositions
Masses d'eau souterraines	Objectifs de l'annexe 4 Objectifs de l'annexe 5	Liste et contenus des orientations, des défis et des dispositions

Pour l'opération d'alimentation électrique, l'analyse de compatibilité de son extrémité ouest jusqu'à Gondrecourt-le-Château est incluse dans l'analyse du projet global Cigéo avec le SDAGE du bassin Seine-Normandie 2010-2015. Une méthodologie similaire est la vérification point par point des thèmes et des orientations du SDAGE Rhin-Meuse pour l'extrémité est de la ligne électrique 400 kV (cf. volume III et volume IV de la présente étude d'impact).

5.1.2 Détermination des niveaux piézométriques

Le réseau utilisé pour établir les niveaux d'eau (piézométrie) 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 pour et depuis la création du laboratoire souterrain, ainsi que des ouvrages préexistants (cf. Tableau 5-2 pour la nappe des Calcaires du Barrois et tableau 5-3 pour la nappe de l'Oxfordien Calcaire.

Tableau 5-2 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	Piézométrie
BSS000SBTY	4,50	FRHG303	Tréveray	1995	Mesure du niveau sous le repère de tête de puits coté au nivèlement général de la France
BSS000UNAR	63,00	FRHG303	Ribeaucourt	1991	
EST5068	15,69	FRHG303	Bure	1996	
BSS000UNAT	24,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1980	
BSS000UNAU	63,00	FRHG303	Ribeaucourt	1980	
EST5069	9,25	FRHG303	Bure	1995	
EST1204	30,00	FRHG303	Bonnet	2010	
EST1207	30,00	FRHG303	Bure	2010	
EST1210	30,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	2010	
EST1212	30,00	FRHG303	Bure	2010	
EST1214	30,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	2010	
EST1215	30,00	FRHG303	Bonnet	2010	
EST1218	60,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	2010	
EST5019	32,00	FRHG303	Montreuil-Sur-Thonnance	1995	
BSS000UNMZ	5,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1974	
EST5070	29,01	FRHG303	Bure	1995	
EST5100	39,71	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1996	
EST5071	20,44	FRHG303	Bure	1996	
BSS000UNND	30,00	FRHG303	Mandres-En-Barrois	1980	
EST1217	30,00	FRHG303	Bonnet	2010	
EST1220	30,00	FRHG303	Bonnet	2010	
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	
EST1037[3]	20,20	FRHG303	Bure	2000	
EST1038	30,00	FRHG303	Bure	2000	
EST1039	23,50	FRHG303	Bure	2000	
BSS000SBCP	15,10	FRHG303	Nantois	1969	
BSS000UNJB	107,00	FRHG303	Pancey		

Tableau 5-3 Stations de suivi de la piézométrie de la nappe de l'Oxfordien Calcaire

	Profondeur du forage (m)	Masse d'eau	Localisation	Début du suivi	Piézométrie
EST331	335	FRHG306/FRHG305	Cirfontaines-en-Ornois	2003	Mesure du niveau sous le repère de tête de puits coté au nivèlement général de la France
EST311	400	FRHG306/FRHG305	Demange-aux-Eaux	1999-2005	
EST321	491	FRHG306/FRHG305	Montreuil-sur-Thonnance	1999-2005	
EST351	502	FRHG306/FRHG305	Effincourt	1999-2005	
EST451	577	FRHG306/FRHG305	Narcy	2007-2008	
EST421	315	FRHG306/FRHG305	Tréveray	2007-2008	
MSE101	922	FRHG306/FRHG305	Morley	1994	
EST107	425	FRHG306/FRHG305	Cirfontaines-en-Ornois	1993-1995	
EST411	411	FRHG306/FRHG305	Houdelaincourt	2007-2008	
EST103	526	FRHG306/FRHG305	Bure	1993-1995	
EST431	548	FRHG306/FRHG305	Montiers-sur-Saulx	2007-2008	
EST461	420	FRHG306/FRHG305	Thonnance-les-Moulins	2007-2008	

[3] 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.

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

5.1.3.1 Règlementation et exigences

Au sens de la **directive-cadre sur l'eau** (DCE) (9), 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) (9) et sa directive fille 2006/118/CE (10) 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.

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 en 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 ZRE est définie dans un arrêté préfectoral.

En novembre 2019, l'Andra a vérifié la cartographie des ZRE sur le site Internet SIGES Seine-Normandie (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie). Il n'existe 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'existe pas de ZRE dans l'aire d'étude de la ligne 400 kV.

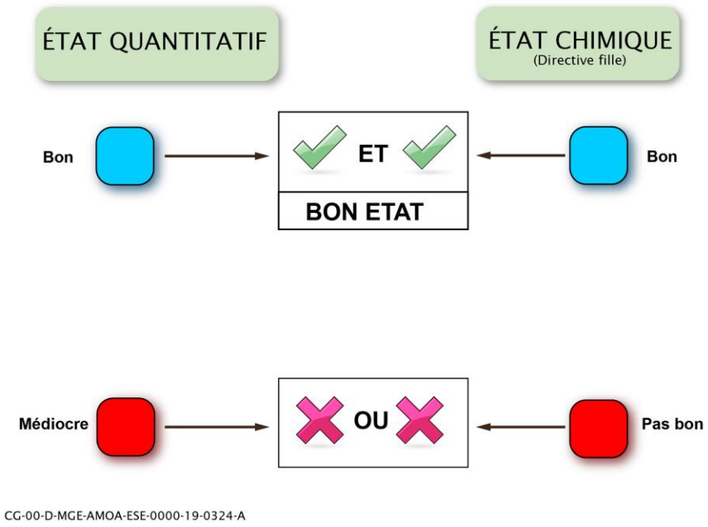


Figure 5-3 *Processus de définition de l'état des masses d'eau souterraines (en cours de modification*

Les paramètres et valeurs seuils, présentés dans le tableau annexe 6-1 de ce volume, sont fixés par l'arrêté du 17 décembre 2008 (11) 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.

5.1.3.2 Station de suivi

Le réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines compte dix stations permettant d'échantillonner la masse d'eau FRHG3303 « Calcaires du Tithonien karstique entre Seine et Ornain » et la masse d'eau FRHG3306 « Calcaires Kimméridgien-Oxfordien karstique entre Seine et Ornain ».

Ces stations[4] sont indiquées sur la figure 5-4 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 2013 à 2018.

Les données analysées pour qualifier les eaux du Dogger ne sont pas étudiées au regard de ces NQE ; la masse d'eau n'est en effet pas exploitée à proximité de Cigéo. Elle ne l'est pas non plus dans l'aire d'étude éloignée du projet global Cigéo.

Tableau 5-4 *Fréquence des observations par station de suivi*

	OPE02355	OPE02357	OPE02363	OPE02372	OPE02518	OPE02519	OPE02520	OPE03357	OPE03358	OPE03359
	EST5065	EST5069	EST1204	EST5100	EST5078	EST1210	EST5076	EST1207	EST1217	EST1220
Nb. total d'observations	10	14	20	20	20	9	23	9	2	12
Nb d'observations/an										
2013	4	4	4	4	4	4	4			
2014	3	2	4	4	4	3	3			
2015	3	4	4	4	4	2	4			
2016										
2017		2	4	4	4		6	5		6
2018		2	4	4	4		6	4	2	6

[4] 8 stations pour la masse d'eau FRHG3303 et 2 stations pour la masse d'eau FRHG3306

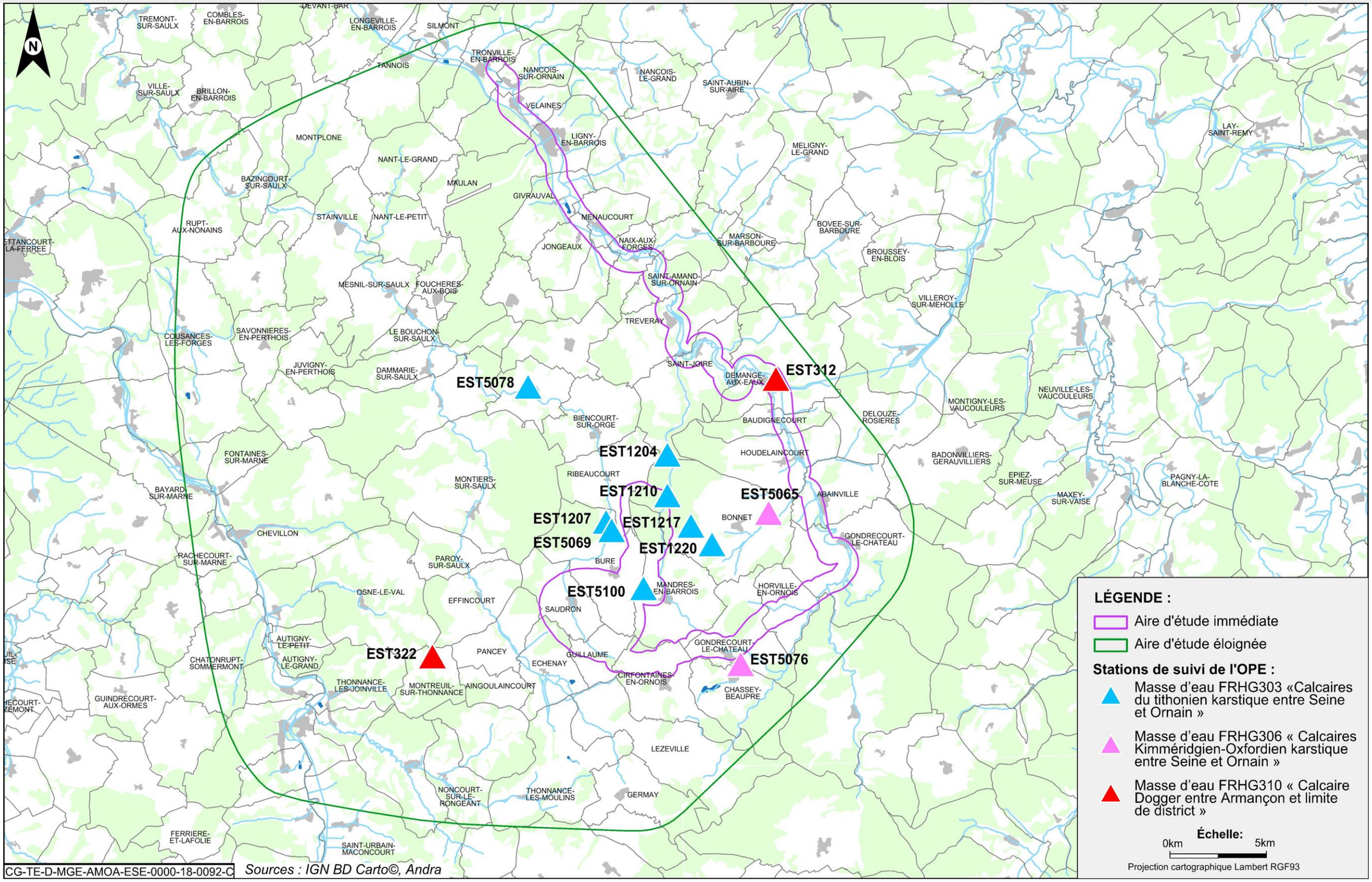


Figure 5-4 Réseau de suivi des eaux souterraines

5.1.3.3 Le programme analytique pour les paramètres conventionnels

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

- NF EN ISO 5667 3 (mai 2013) : « Échantillonnage, Partie 3 : lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau » ;
- FD T 90 523 3 (janvier 2009 (12)) : « Guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement » ;
- FD X 31 615 (décembre 2000 (13)) : « 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 analysent ensuite les échantillons selon des normes AFNOR, internationales ou des méthodes internes validées selon la norme NF T90-210 de novembre 2018 (14) 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 (15) relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 (11) 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.

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.

Les connaissances acquises sur les masses d'eau souterraines via les suivis réalisés par l'observatoire pérenne de l'environnement sont complétées grâce aux informations disponibles sur le site du SIGES (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie) http://sigessn.brgm.fr/.

5.1.3.4 Le programme analytique pour les paramètres non-conventionnels

Le programme analytique pour les paramètres non-conventionnels (paramètres radiologiques en particulier) est explicité dans le chapitre **17** du présent volume VII de l'étude d'impact du projet global Cigéo.

5.1.4 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) http://infoterre,brgm,fr/ et de l'ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) https://ades,eaufrance,fr/ 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 l'agriculture avec les captages (irrigation et bétail) et industriel : 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) http://infoterre,brgm,fr/

5.1.5 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 http://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives#.

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

5.1.6.1 Évaluation de l'impact sur les niveaux aquifères des Calcaires du Barrois

- **Évaluation de l'influence des puits de la zone puits sur les aquifères des Calcaires du Barrois**

  L'impact hydraulique des travaux de fonçage des puits de la zone puits sur le débit d'exhaure de la nappe des Calcaires du Barrois a été évalué avec un modèle utilisant l'équation de Theis.

  Cette équation introduit le régime transitoire, intégrant le temps et le coefficient d'emmagasinement, Ainsi, avec un pompage à débit constant dans un puits parfait (captant l'intégralité de l'aquifère) captant un aquifère d'extension latérale illimitée, l'influence du prélèvement de l'eau se propage vers l'extérieur avec le temps, Si en chaque point de la zone d'influence on multiplie l'abaissement de la charge hydraulique par le coefficient d'emmagasinement, et si l'on fait ensuite la somme de toutes les valeurs obtenues, le chiffre trouvé est égal au volume prélevé. Comme l'eau doit provenir d'une réduction de l'emmagasinement de la nappe, le niveau piézométrique continue à baisser aussi longtemps que l'aquifère reste infini. Dans ce cas théorique, il n'existe plus de régime permanent. Cependant, comme la vitesse de l'abaissement diminue constamment au fur et à mesure que la zone d'influence s'étend, et que le cas échéant elle devient si faible qu'elle devient négligeable, il est possible de considérer qu'un régime permanent a été atteint.

  Limites

  L'évaluation des impacts est réalisée en première approche en faisant l'hypothèse simplificatrice d'un milieu homogène et isotrope (sans variation spatiale des caractéristiques hydrauliques du milieu, incertitudes sur les perméabilités…). Or ceci ne correspond pas aux caractéristiques hydrogéologiques de la nappe des Calcaires du Barrois

- **Évaluation de l'aire d'influence de la paroi étanche sur les aquifères des Calcaires du Barrois**

  L'évaluation a été réalisée à partir d'un modèle hydrogéologique numérique de l'aquifère des Calcaires du Barrois au droit du centre de stockage Cigéo incluant les zones d'intervention potentielle. Ce modèle a pour objectif d'évaluer l'impact hydrogéologique du projet sur les principaux enjeux identifiés à savoir les captages d'alimentation en eau potable et les captages d'alimentation en eau agricole.

  Il permet ainsi d'évaluer l'impact des structures enterrées et des rejets sur les écoulements souterrains et notamment l'effet barrage engendré par l'installation d'une paroi étanche autour des installations de la zone descenderie, ou l'effet hydraulique des puits qui traversent les différents horizons du Barrois en zone puits.

  Limites

  Les rejets des différents types d'eau générés par le centre de stockage Cigéo ainsi que les eaux pluviales et ruissellements de surface (eaux collectées via les bassins) ne sont pas pris en compte dans la modélisation. Leur réinfiltration en aval n'est pas pris en compte dans l'alimentation de la nappe (directe ou indirecte).

  De plus, 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, alors qu'elles seront nécessairement rejetées au milieu.

  Enfin, 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. 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 m.

5.1.6.2 Évaluation de l'impact sur les niveaux aquifères du Kimméridgien et de l'Oxfordien

L'impact hydraulique du creusement des ouvrages (zone puits et zone descenderie), a été simulé à l'aide d'un modèle hydrogéologique 3D. Le logiciel utilisé, MARTHE® version n° 7.4 (modélisation d'aquifères par maillage rectangulaire en régime transitoire pour le calcul hydrodynamique des écoulements) est un logiciel développé et maintenu par le BRGM. Ce modèle fonctionne suivant la méthode numérique des volumes à différences finies (mailles parallélépipédiques).

Le logiciel MARTHE® permet la représentation en 3D de systèmes aquifères multicouches avec la prise en compte des formations géologiques peu perméables ou semi-perméables séparant les niveaux plus aquifères. La géométrie 3D de ces formations est intégrée au modèle de manière à mieux appréhender les variations spatiales des niveaux piézométriques. Les nombreuses options de calcul développées dans ce logiciel en font un outil adéquat pour la simulation des impacts d'aménagements souterrains sur les écoulements en nappe. Il permet notamment de modéliser les débits d'exhaure pendant et après le creusement des liaison surface-fond, ainsi que les modifications de niveaux piézométriques dues au rabattement de nappe.

Le code de calcul MARTHE® fait intervenir des données de plusieurs types :

- des données d'options ou des paramètres constants ;
  - ✓ par exemple : choix du code de calcul pour les modélisations hydrauliques, nombre d'itérations de calcul, seuil de convergence ;
  - ✓ ces paramètres sont au nombre de plusieurs centaines ;
- des données de champs maillés ;
  - ✓ ce sont les données de toutes les mailles du domaine pour un champ donné. Par exemple les données de charge hydraulique initiale, les données d'altitude du substratum, les données de concentration initiale ;
  - ✓ il peut y avoir plus de 180 champs différents de données ;
  - ✓ chaque champ à ses données dans un fichier propre ;
  - ✓ par défaut tous les champs sont initialisés à zéro ;
  - ✓ pour chaque champ qui n'est pas uniforme, le fichier contient les données successivement couche par couche, de la couche n° 1 à la dernière couche, les données de chaque couche apparaissent sous forme d'une « grille » formée de nl lignes de nc colonnes chacune, la ligne n° 1 est celle qui a l'ordonnée la plus grande ;
  - ✓ il peut également y avoir des maillages gigognes, c'est-à-dire des sous maillages inclus dans le maillage principal, dans les fichiers de grilles, les données des maillages gigognes apparaissent après la dernière couche du maillage principal, un maillage gigogne concerne toutes les couches. C'est-à-dire que si on définit un raffinement de maillage dans une zone du modèle, le raffinement concernera toutes les couches à l'aplomb de cette zone, par ailleurs il ne peut pas y avoir de gigognes inclus dans un maillage gigogne ;
  - ✓ les données de chaque champ peuvent être modifiées, en partie ou en totalité, à n'importe quel pas de temps. Par exemple on peut modifier des débits de pompage, ou des pluies, mais aussi des perméabilités, des longueurs de cours d'eau, des perméabilités de lit de cours d'eau, des porosités, des conditions aux limites, etc. ;
- des données particulières qui ne sont ni des champs maillés, ni des constantes ;
  - ✓ la description des dates de fin des pas de temps, et des modifications éventuelles qui leurs sont associées ;
  - ✓ la liste des mailles dites « à historiques », c'est-à-dire des mailles pour lesquelles on mémorise le suivi des valeurs calculées à chaque pas de temps ;
  - ✓ la liste des points de départ des trajectoires (fonction de calcul hydrodispersif du modèle) ;
  - ✓ l'« arbre de branchement » des rivières ou des drains ;
  - ✓ le profil d'utilisation ;
  - ✓ etc.

Un « fichier projet » de MARTHE®, rassemble les noms de tous les fichiers utilisés pour un calcul :

- le fichier des paramètres généraux ;
- le fichier des pas de temps ;
- les fichiers des champs maillés ;
- les fichiers de données particulières non maillées.

Une première phase de modélisation hydrodynamique a consisté à simuler la piézométrie initiale des nappes concernées avec une bonne représentativité de leurs variations spatiales et saisonnières, en relation avec la climatologie (recharge des nappes), avec les prélèvements recensés et avec les cours d'eau. La fiabilité de cette reconstitution de comportement des écoulements est très liée à la période d'observation piézométrique (hautes et basses eaux) et aux phénomènes de recharge des nappes (répartition, cinétique).

Une seconde phase de modélisation a consisté à simuler différents scénarios d'aménagement du stockage souterrain afin de proposer la solution optimale. La fiabilité des débits d'exhaure calculés est à celle des conditions d'alimentation modélisées et par les paramètres hydrodynamiques (champs de perméabilité, d'épaisseur aquifère, d'emmagasinement, etc.), Ces paramètres sont issus d'observations, de tests et de mesures dans le milieu ainsi que des différentes études conduites au sujet de l'influence du centre de stockage Cigéo sur les couches aquifères et sur les couches aquicludes (formation relativement imperméable à l'eau).

5.2 Eaux superficielles

5.2.1 Définition du réseau hydrographique

5.2.1.1 Règlementation et exigences

a) 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 (9). 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.

b) Établissement de la liste des cours d'eau concernées

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 Seine Normandie 2016-2021 (pour rappel, ce dernier a été annulé par le tribunal administratif du Paris le 19 décembre 2018 et le document en vigueur est le SDAGE Seine-Normandie 2009-2015) et du SDAGE Rhin-Meuse 2016-2021 pour l'extrémité est de la ligne électrique 400 kV.

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 ;
- de la BD Carthage (base de données du réseau hydrographique français produite par les agences de l'eau) ;

- du site http://cartelie.application.developpement-durable.gouv.fr/ du ministère de la Transition écologique et solidaire/ministère de la Cohésion des Territoires des Préfectures de la Meuse (dép.55), de la Haute-Marne (dép.52) ;
- de la liste des cours d'eau définie pour le département 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 et faite à la fois à travers le prisme des listes du SDAGE et des subdivisions hydrographiques du SANDRE.

» DÉFINITION D'UN 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 DEVL1506776J a demandé aux services de l'État de réaliser une cartographie des cours d'eau dans 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 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'observatoire pérenne de l'environnement.

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 versant ne se trouvent pas en aval des aménagements.

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. Seuls les plans d'eau inclus dans l'aire d'étude immédiate du centre de stockage Cigéo ont été étudiés.

5.2.2 Appréciation du risque inondation

5.2.2.1 Règlementation et exigences

La directive européenne 2007/60/CE, dite « directive inondation » (16) a été transposée en droit Français dans la loi LENE du 13 juillet 2010 (17) et dans le décret n° 2011-227 du 2 mars 2011 (18), 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 3 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 locales sont en cours d'élaboration pour fin 2016.

Un inventaire des règlementations 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 issus en trois étapes a été entrepris :

- les documents administratif d'organisation de cette gestion :
  - ✓ les **atlas des zones inondables** (AZI) http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/telechargement/azi ;
  - ✓ 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 risquent 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) vec en Haute-Marne et en Meuse un PAPI d'Intention, de la Marne, Vallage et Perthois ;
- les documents de prescription 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 ;
- les bases de données tels que :
  - ✓ géorisques ;
  - ✓ base de données historiques sur les inondations (BDHI) ;
  - ✓ base Géorisques des Territoires à Risque important d'Inondation (TRI).

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 inondation (PAPI).

Il en ressort que dans cette aire d'étude éloignée défini 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.

» ORGANISATION ADMINISTRATIVE DE LA GESTION DU RISQUE INONDATION

Les atlas de zones inondables (AZI) représentent donc les zones potentiellement inondables ayant ou non été inondées par une crue connue (crue centennale ou crue exceptionnelle).

Les plans de prévention des risques inondations (PPRI) permettent d'instaurer des servitudes d'utilité publique en zones inondables. Élaborés par les services de l'État, les PPRI définissent les mesures applicables aux constructions dans les zones vulnérables. Chaque document prévoit un zonage réglementaire en trois niveaux :

- les zones rouges d'aléa très fort où les nouvelles constructions sont interdites ;
- les zones bleues (centres urbains) où les nouvelles constructions sont autorisées sous réserve de respecter certaines prescriptions ;
- les zones blanches où aucune restriction n'est imposée.

Aux mesures relatives aux nouvelles constructions s'ajoutent les mesures applicables aux bâtis existants. Ainsi, certains plans de prévention des risques inondation peuvent prescrire la réalisation de travaux et d'aménagements sur des constructions existantes dans un délai défini. Les PPRI sont obligatoires depuis 1995 (loi dites « Barnier » lien), pour toute commune soumise au risque inondation.

Le plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) est un document stratégique pour la gestion des inondations sur les grands bassins hydrographique, initié par une Directive européenne, dite « Directive Inondation » dont les objectifs ont été repris dans la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (dite loi Grenelle II).

L'identification des territoires à risque important d'inondation (TRI) est réalisée en s'appuyant sur l'évaluation préliminaire du risque inondation (EPRI), et à partir de critères nationaux de caractérisation du risque. Ces territoires correspondent à des zones dans lesquelles les enjeux potentiellement exposés aux inondations sont les plus importants (notamment les enjeux humains et économiques situés en zone potentiellement inondable), ce qui justifie une action volontariste et à court terme de tous les acteurs de la gestion du risque.

Lancés en 2002, les programmes d'actions de prévention des inondations (PAPI) visent à promouvoir une gestion intégrée des risques d'inondation en vue de réduire les conséquences dommageables sur la santé humaine, les biens, les activités économiques et l'environnement.

» DOCUMENT DE PRESCRIPTION

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 (codifiée maintenant dans le code de l'environnement) a créé deux nouveaux outils de planification :

- les SDAGE, schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux, élaborés pour chacun des grands bassins hydrographiques français par les comités de bassin ;
- les SAGE, schéma d'aménagement et de gestion des eaux, élaborés à une échelle plus locale, lorsque cela est nécessaire, par une commission locale de l'eau.

Ces deux outils sont ont une portée juridique et organisent la gestion de l'eau à des niveaux hydrographiques cohérents.

Le SDAGE est un document d'orientation qui définit :

- des orientations ayant une portée réglementaire : il s'impose aux décisions de l'État en matière de police de l'eau, aux décisions des collectivités, des établissements publics ou autres usagers pour tous les programmes assurant la gestion de l'eau ;
- des actions structurantes à mettre en œuvre pour améliorer la gestion de l'eau au niveau du bassin ;
- des règles d'encadrement des SAGE qui doivent être compatibles ou rendus compatibles avec les SDAGE.

Ainsi, les collectivités, les départements, les régions, l'État et ses établissements publics ne pourront pas aménager leur territoire, ni imaginer de grands travaux, sans tenir compte du SDAGE.

Le SAGE a pour vocation de :

- fixer des objectifs quantitatifs et qualitatifs à atteindre pour les masses d'eau concernées dans un délai déterminé ;
- définir la répartition de l'eau disponible entre les différentes catégories d'usagers, le cas échéant en déterminant des priorités d'usages en cas de conflits ;
- identifier et protéger les milieux aquatiques sensibles ;
- coordonner les actions d'aménagement, de protection de la ressource, d'entretien des masses d'eau et de lutte contre les inondations.

5.2.2.2 Définition de l'état actuel pour le risque inondation

Les différents documents cités au paragraphe 5.2.2.1 du présent document, 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.

Des observations de terrain, notamment au niveau des cours d'eau ont également servi à évaluer le risque inondation (traces de dépôts, érosion de berges, identification de nœuds hydrauliques dont certains ont déjà fait l'objet de travaux à Saudron et témoignages).

Des évaluations de débits spécifiques des 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 5.2.5 de ce volume VII.

5.2.2.3 Évaluation des incidences pour le risque inondation

Les critères de caractérisation des incidences potentiels du projet global Cigéo au 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 de la modalité 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, voire des eaux épurées, par des redimensionnements à la hausse ou à la baisse, le cas échéant, en utilisant les meilleures techniques disponibles.

5.2.3 Détermination des débits des cours d'eau

Les données de débits des cours d'eau sont issues des synthèses par station du site http://hydro.eaufrance.fr/ (Eaufrance est le service public d'information sur l'eau (19) et des mesures des stations du réseau de suivi de l'observatoire pérenne de l'environnement.

Les données disponibles sur les stations du réseau hydro.eaufrance.fr permettent de définir pour les cours d'eau 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.

Les données issues des stations du réseau de suivi de l'observatoire pérenne de l'environnement permettent d'apprécier les débits instantanés des cours d'eau. Ce sont des mesures ponctuelles et elles sont données à titre indicatif.

5.2.3.1 Stations

Le réseau de suivi de la qualité des eaux de surface incluant celui de l'observatoire pérenne de l'environnement comporte deux types de stations dépendant du régime des cours d'eau (écoulement permanent ou intermittent). Leurs localisations sont présentées sur la Figure 5-5. Ce réseau comporte :

- onze stations de type RC (pour réseau de contrôle) situées sur des cours d'eau permanents dont six appartenant au réseau de l'OPE ;
- vingt-deux stations de type RCP (pour réseau de contrôle ponctuel) situées sur des cours d'eau temporaires.

Les points de suivi et leur fréquence d'analyse sont classés par bassin versant dans le tableau 5-5 pour le bassin versant de La Marne, dans le tableau 5-6 pour le bassin versant de La Saulx et dans le tableau 5-7 pour le bassin versant de l'Ornain.

Tableau 5-5 *Bassin versant de La Marne - Points de suivi des débits des cours d'eau sur le secteur de référence de l'observatoire pérenne de l'environnement et fréquence d'intervention (prévisionnelle en raison des assecs)*

N° du point de suivi de l'observatoire pérenne de l'environnement Référence	Bassin versant concerné	Cours d'eau suivi	Fréquence de mesure
H5071050	La Marne	La Marne	-
02275X0026		La Marne	-
EST5031		Source Gerbaud a Effincourt	4 x/an
EST5059		Source de Saint-Firmin à Bonnet	4 x/an
EST5060		Source Géocourt à Bonnet	4 x/an
EST5082		Source au Crible Demange-aux-Eaux	4 x/an
EST5096		Fontaine de Selincourt à Houdelaincourt	4 x/an
EST5110		Source de la Minottière à Montiers	4 x/an
EST5114		Fontaine de Ribeaucourt	4 x/an
EST5116		Fontaine Saint-Maurice à St Joire	4 x/an

Tableau 5-6 *Bassin versant de La Saulx - Points de suivi des débits des cours d'eau sur le secteur de référence de l'observatoire pérenne de l'environnement et fréquence d'intervention (prévisionnelle en raison des assecs)*

N° du point de suivi de l'observatoire pérenne de l'environnement		Bassin versant concerné	Cours d'eau suivi	Fréquence de mesure
Référence OPE	Autre référence			
OPE01751		La Saulx	Orge	6 x/an
OPE90011			La Saulx	6 x/an
OPE90012			La Saulx	6 x/an
OPE90013			La Saulx	6 x/an
	H5102040	La Saulx	La Saulx	-
OPE01750		La Saulx	Orge	4 x/an
OPE01881			Orge	4 x/an
OPE01882			Orge	4 x/an
OPE01883			Orge	4 x/an
	EST5072	La Saulx	La Bureau	4 x/an
OPE01890		La Saulx	La Saulx	4 x/an

Tableau 5-7 *Bassin versant de l'Ornain- Points de suivi des débits des cours d'eau sur le secteur de référence de l'observatoire pérenne de l'environnement et fréquence d'intervention (prévisionnelle en raison des assecs)*

N° du point de suivi de l'observatoire pérenne de l'environnement	Bassin versant concerné	Cours d'eau suivi	Fréquence de mesure
OPE90014	Ornain	Ornain	6 x/an
OPE01884	Ornain	Ormançon	4 x/an
OPE01885		Ormançon	4 x/an
OPE01886		Ormançon	4 x/an
OPE02790		Ruisseau de Naillemont	4 x/an
OPE02791		Ruisseau de Naillemont	4 x/an
OPE02792		Ruisseau de l'Étang	4 x/an
OPE02793		Ruisseau de l'Étang	4 x/an

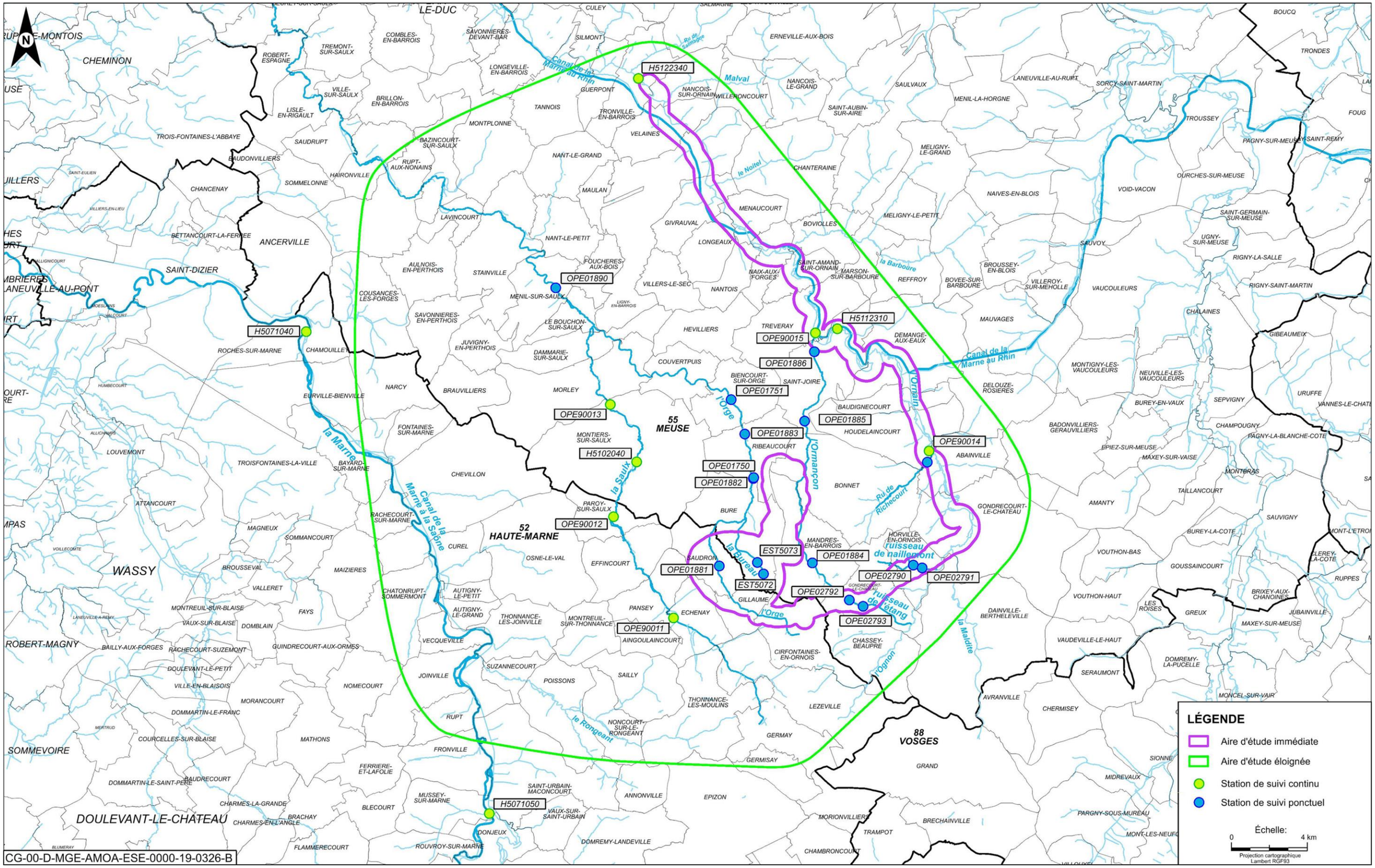


Figure 5-5 *Carte des stations de jaugeage de l'observatoire pérenne de l'environnement et des services de l'État et recensées dans la Banque Hydro*

Le fonctionnement des deux types de stations est le suivant :

- les **stations de mesure en continu** (cf. Figure 5-6) 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 établit 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 5-6 *Station de suivi en continu des eaux de surface (station OPE 90014 le long de l'Ornain)*

5.2.3.2 Fréquence des mesures

Les stations de mesure en continu du réseau de l'observatoire pérenne de l'environnement mesurent la hauteur d'eau des cours d'eau 6 fois/jour. Les débits calculés sont issus des données journalières médianes.

Pour ce qui est des stations de mesures ponctuelles, 4 à 6 mesures de débit ponctuel par an ont été réalisées entre 2011 et 2015. En 2017 et 2018, 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.

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

5.2.4.1 Règlementation et exigences

La directive cadre sur l'eau (DCE) 2000/60/CE du 23 octobre 2000 (9) 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. Cet arrêté a été modifié par l'arrêté du 27 juillet 2015 (20), puis par celui du 27 juillet 2018 (21).

Les SDAGE 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 susceptible d'être affecté par le projet global Cigéo est caractérisé par son état chimique et écologique et son objectif de qualité à atteindre indiqué dans le SDAGE 2016-2021 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands (annulé) et le SDAGE 2010-2015 Seine-Normandie en vigueur (22).

5.2.4.2 Paramètres pour l'établissement de l'état des masses d'eau

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.

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 5-7).

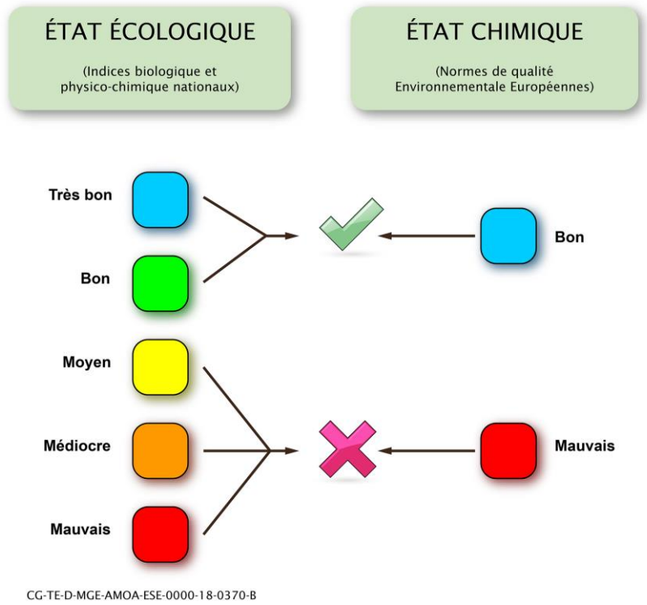


Figure 5-7 *Règle de détermination de l'état des masses d'eau selon la directive cadre sur l'eau (en cours de modification)*

- **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 5-8.

  Pour chaque type de masse de 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-chimique » 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, 4 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.

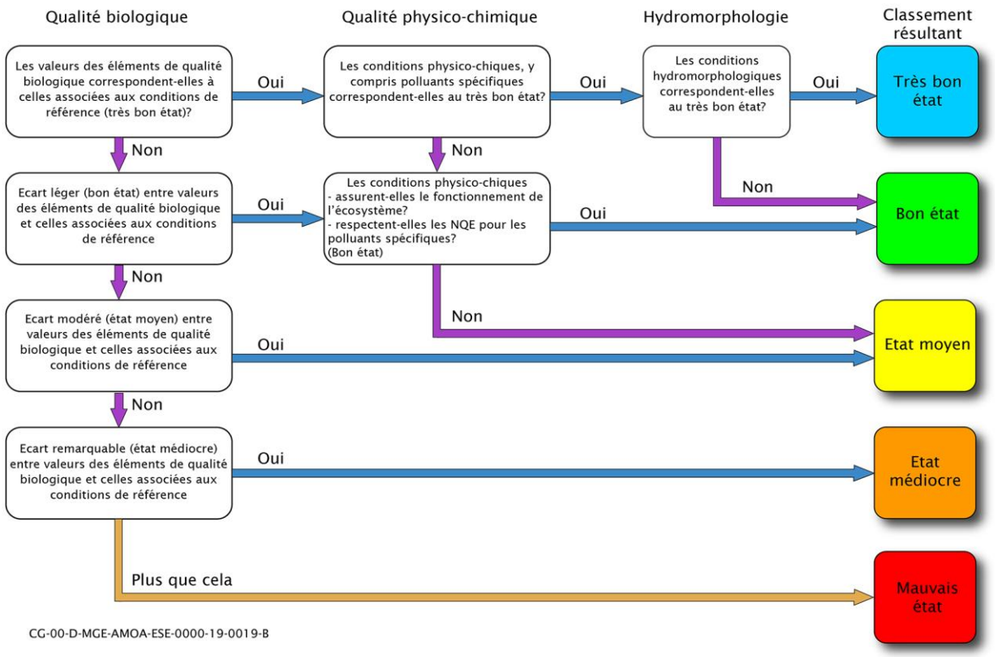


Figure 5-8 Règles de détermination de l'état écologique des masses d'eau[5]

- **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, 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 l'OPE à l'aide d'un outil informatique développé pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie : le logiciel S3R.

5.2.4.3 Stations

Le réseau de suivi de la qualité des eaux de surface de l'observatoire pérenne de l'environnement comporte 23 points de suivis répartis sur 7 cours d'eau (cf. Tableau 5-8). Leurs localisations sont présentées sur la figure 5-9 A ces données s'ajoutent des données issues de la base de données de l'agence de l'eau Seine Normandie (Qualit'Eau)

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

[5] 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 (23).

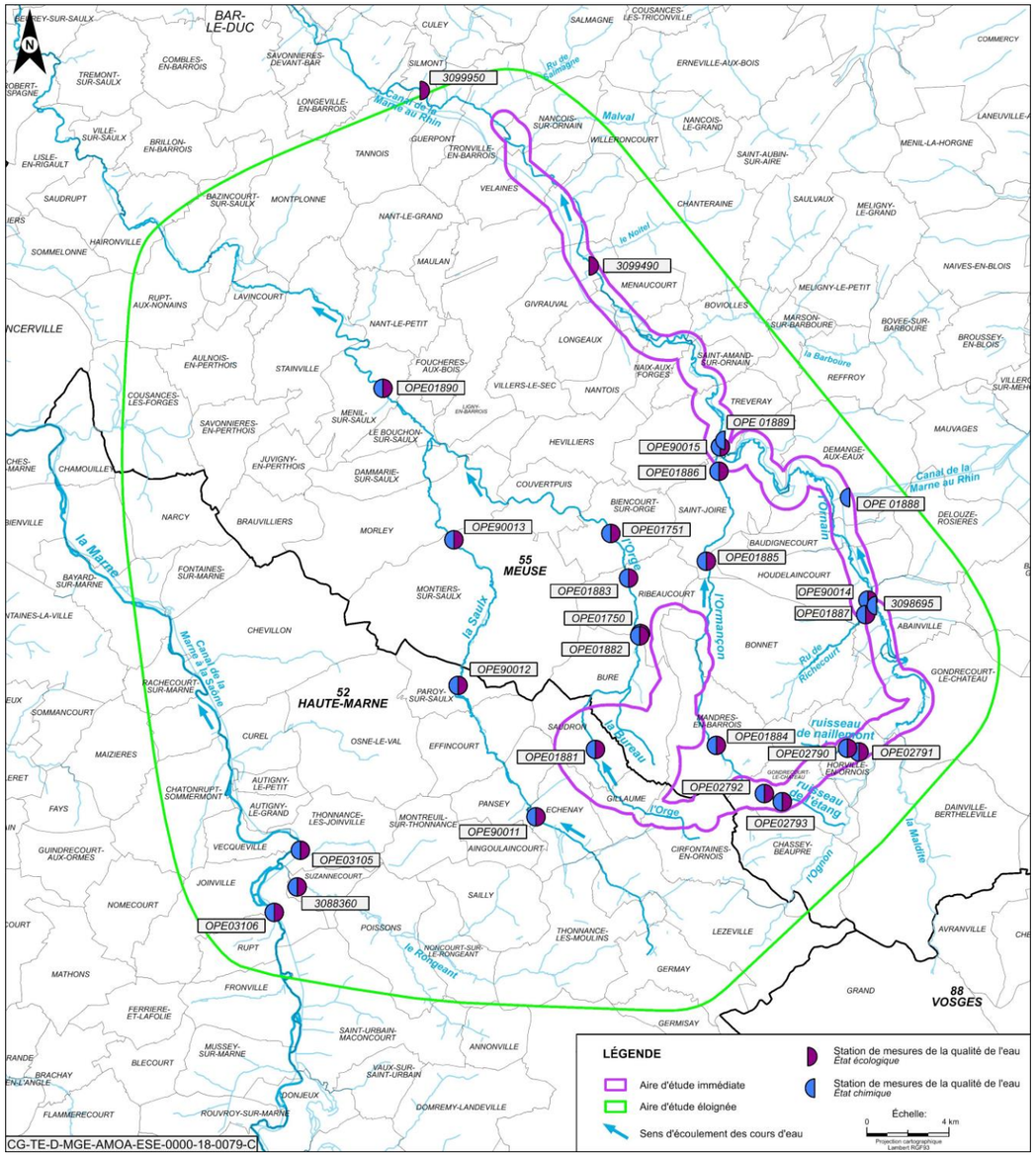


Figure 5-9 *Carte des station de l'observatoire pérenne de l'environnement et de la Banque Hydro pour les prélèvements et les analyses qualitatives des eaux de surface*

Tableau 5-8 *Liste des points de suivi de la qualité des eaux de surface sur le secteur de référence de l'observatoire pérenne de l'environnement (OPE et services de l'État) et fréquence d'échantillonnage associé*

Réseau	N° du point de suivi de l'observatoire pérenne de l'environnement	Matrice	Fréquence de mesure	Paramètres analysés
RC	Bassin versant de La Saulx : OPE01751 – Orge OPE90011/OPE90012/OPE90013 – La Saulx Bassin versant de l'Ornain: OPE90014/OPE90015 - Ornain	Eau	12x/an	Physico-chimie Ions majeurs Micropolluants Production végétale
		Sédiment	1 x/an	Physico-chimie Micropolluants Granulométrie
		Biologie	1 x/an	IBG-DCE + IBD
RCP	Bassin versant de La Marne: OPE03105/OPE03106 – La Marne 3088360 – Le Rongeant Bassin versant de La Saulx : OPE01750/OPE01881/OPE01882/OPE01883 – Orge OPE01890 – La Saulx Bassin versant de l'Ornain: OPE01884/OPE01885/OPE01886 – Ormançon OPE02790/OPE02791 – Ruisseau de Naillemont OPE02792/OPE02793 – Ruisseau de l'Etang **OPE01887**	Eau	12 x/an	Physico-chimie Ions majeurs Micropolluants Production végétale
	Bassin versant de La Saulx : OPE01888/OPE01889/3098695 – La Saulx	Eau	-	Physico-chimie
	Bassin versant de l'Ornain : 3099950/3099490 - Ornain	Biologie	-	IBG-DCE + IBD

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 2015

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 4 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	Florescence

5.2.4.4 Données utilisées

L'état des masses d'eau présentées dans l'état actuel est issu en premier lieu de l'état des lieux 2013 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands arrêté par le préfet coordonnateur du bassin le 1er décembre 2015 (24). Les données provenant du SDAGE annulé ont aussi été prises en compte.

Les résultats, issus du réseau de suivi des eaux superficielles de l'observatoire pérenne de l'environnement mis en place en 2011, sont indiqués pour les années 2014, 2015 et 2017. Les données acquises par l'observatoire pérenne de l'environnement 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.

Les prélèvements des échantillons, leurs analyses ainsi que le traitement des données suivent les normes et recommandations françaises définies ci-dessous.

a) Pour les prélèvements d'eau (EAUX)

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

- NF EN ISO 5667-6 (25) Qualité de l'eau – Échantillonnage – Partie 6 : guide général pour l'échantillonnage des rivières et des cours d'eau ;
- FD T 90-523-1 guide de prélèvement (26) 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 (27) : 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.

Ces prélèvements, ainsi que les analyses chimiques sont réalisés par des laboratoires indépendant accrédités.

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 entourant 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) et permet une estimation plus fine de la qualité des milieux naturels (normes NF T90-333 (28) et XP T90-388 (29)).

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.

Il n'y a pas d'ambiguïté à remplacer l'évaluation de l'IBGN par celle de l'IBG-DCE néanmoins, il est à l'heure actuelle retenu à l'échelle nationale de conserver la gamme de notation de l'IBGN, lequel s'exprimait par une note allant de 0 à 20 : plus la note est élevée, meilleure est la qualité biologique du milieu. Du fait que l'expression du résultat de l'IBG « DCE » ne soit pas encore finalisée par l'IRSTEA, seul un IBGN « équivalent » peut être calculé à partir des données issues du protocole de prélèvement de l'IBG « DCE ».

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 I2 M 2 (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 réalisés. Le nombre de prélèvement annuel est donc variable.

Pour l'IBG-DCE les documents appliqués sont :

- circulaire DCE 2007/22 en date du 11/04/07 (30) 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 (21) ;
- norme XP T90-333 (Sept 2009 (28)) « *Qualité de l'eau – Prélèvement des macro invertébrés aquatiques en rivières peu profondes* » et la norme complément XP T 90-388 (Juin 2010) (29) « *Qualité de l'eau - Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau »*;
- guide d'application GA T90-733 (Mars 2012) « Qualité de l'eau : guide d'application de la norme expérimentale XP T90-333 : 2009 (28) (Prélèvement des macro invertébrés aquatiques en rivières peu profondes) » ; Indice Biologique Global DCE compatible XP T90-333 (28) – XP T90-388 (29)
- norme XP T90-388 (Juin 2010) « Qualité de l'eau (29) : 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 (29)) » ;
- programme 100-3 du COFRAC « Analyses biologiques des milieux aquatiques » (31).

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

- NF T 90-354 (Décembre 2007) (32) Qualité de l'eau : détermination de l'Indice biologique Diatomées (IBD) ;
- NF EN 14407 (Octobre 2004) Qualité de l'eau (33) : guide pour l'identification et le dénombrement des échantillons de diatomées benthiques de rivières, et leur interprétation ;
- NF EN 13946 (Juillet 2003) (34) 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 » (31).

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 (20). 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 EAUFANCE 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. Un peuplement de poissons est le résultat de nombreux facteurs, intervenant à diverses échelles d'espace et de temps. Au-delà des informations sur la présence ou l'absence de telle ou telle espèce, l'analyse des résultats des différents échantillonnages permet d'approcher la qualification de l'état des milieux aquatiques. Le poisson est un organisme intégrateur des conditions du milieu, c'est à dire que les peuplements sont capables de résister lorsque les conditions du milieu deviennent moins favorables, et en dehors des mortalités aiguës, on n'observe pas nécessairement de grands changements immédiats du peuplement. En revanche, si l'agression est grave (pollution aiguë par exemple) ou si les conditions environnementales se modifient durablement, le peuplement va changer, dans le premier cas par la disparition brutale de certaines espèces, dans le second par la mise en place d'un nouvel équilibre d'espèces. Ainsi, l'observation des poissons constitue un moyen d'évaluer l'état de l'environnement aquatique.

5.2.4.5 Le programme analytique pour les paramètres conventionnels

Le programme analytique pour les paramètres conventionnels est explicité dans le chapitre 17.2du présent volume VII de l'étude d'impact du projet global Cigéo.

Le nombre de prélèvement 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.

Tableau 5-10 Bassin versant de La Marne - Fréquence de prélèvement réalisé par l'observatoire pérenne de l'environnement sur les stations suivies

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

Tableau 5-11 Bassin versant de La Saulx - Fréquence de prélèvement réalisé par l'observatoire pérenne de l'environnement sur les stations suivies

Cours d'eau	Code	Position /projet global	Nombre de prélèvements réalisés par station											
			2014			2015			2017			Total		
			EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO
Orge	OPE 01750	Aval ZD, verses	4			5			5		1	14		1
	OPE 01751	Aval ZD, verses	4			4			10	1	1	18	1	1
	OPE 01881	Aval ZD, RTE	4			5			9	1	1	18	1	1
	OPE 01882	Aval ZD, verses	4			5			3		1	12		1
	OPE 01883	Aval ZD, verses	4			5			5		1	14		1
Saulx	OPE 01890	Aval ZD, ZP	6	1		6	1		10	1	1	22	3	1
Saulx	OPE 90011	Amont ZD, RTE	6	1	1	6	1	1	10	1	1	22	3	3
	OPE 90012	Aval ZD, RTE	6	1	1	6	1	1	10	1	1	22	3	3
	OPE 90013	Aval ZD	6	1	1	6	1	1	10	1	1	22	3	3

Tableau 5-12 Bassin versant de l'Ornain - Fréquence de prélèvement réalisé par l'observatoire pérenne de l'environnement sur les stations suivies

Cours d'eau	Code	Position /projet global	Nombre de prélèvements réalisés par station											
			2014			2015			2017			Total		
			EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO	EAUX	SED	BIO
Ormançon	OPE 01884	Amont ZP, RTE	4			4			10		1	18		1
	OPE 01885	Aval	4			4			5			13		
	OPE 01886	Amont 27000	4			4			5		1	13		1
Richecourt	OPE 01887	Amont 27000	4			4			3		1	11		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	10		1
	OPE 02791	Amont ITE				6			4	1	1	10	1	1
Ruisseau de l'Étang	OPE 02792	Aval ITE				6			5	1	1	11	1	1
	OPE 02793	Amont ITE				6			5		1	11		1
Ornain	OPE 90014	Aval 27000	6	1	1	6	1	1	10	1	1	22	3	3
	OPE 90015	Aval ZP, verses	6	1	1	6	1	1	10	1	1	22	3	3
	03099950	Aval 27000												
	03099490	Aval 27000	13		1	40								

5.2.4.6 Le programme analytique pour les paramètres non-conventionnels

Le programme analytique pour les paramètres non-conventionnels est explicité dans le chapitre 17 du présent volume VII de l'étude d'impact du projet global Cigéo.

5.2.4.7 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 (35) 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 (36) 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.

5.2.4.8 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'eau potable ; l'inventaire des usages a été réalisé par l'Andra avec recoupements d'information 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 http://baignades.sante.gouv.fr ;
- les piscicultures ;
- les biefs industriels (usages pour la plupart obsolètes mais avec des aménagements pérennes) ;
- les eaux de surface prélevées pour des 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 : http://bnpe.eaufrance.fr/.

5.2.5 Définition de la « pluie de référence » ou pluie projet

La définition des « pluies de référence » servant de données d'entrée aux différentes études de dimensionnement et de modélisation hydraulique des réseaux de collecte des eaux pluviales du projet global Cigéo ainsi qu'au dimensionnement des bassins multifonctions s'entend de la manière suivante :

- le calcul des couples de paramètres pluviométriques de Montana pour les cumuls de pluies de période de retour Tr = 2, 10 ans et 100 ans. Pour mémoire, un couple de paramètres pluviométriques de Montana permet d'agréger l'ensemble des informations de cumul de hauteur d'eau en fonction de la durée de la pluie, pour une période de retour donnée. Les paramètres de Montana serviront ensuite au dimensionnement des réseaux et des bassins multifonctions ;
- la définition d'hydrogrammes de projet de pluies centennales. En fonction notamment des paramètres pluviométriques calculés au préalable, il s'agira de donner une forme et une durée à l'hydrogramme de pluie centennale.

Une analyse de la représentativité de la station de référence choisie. Cette analyse permet de valider la représentativité de la station de référence vis-à-vis des mesures de pluviométrie effectuées sur le terrain.

Dans les versions actualisées de la présente étude d'impact et plus particulièrement du volume VII, les définitions de la pluie projet retenue pour les autres opérations du projet global Cigéo seront explicitées.

5.2.5.1 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) ;
- 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 5-13. La localisation des stations pluviométriques est indiquée sur la figure 5-10.

Tableau 5-13 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)	
St-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.

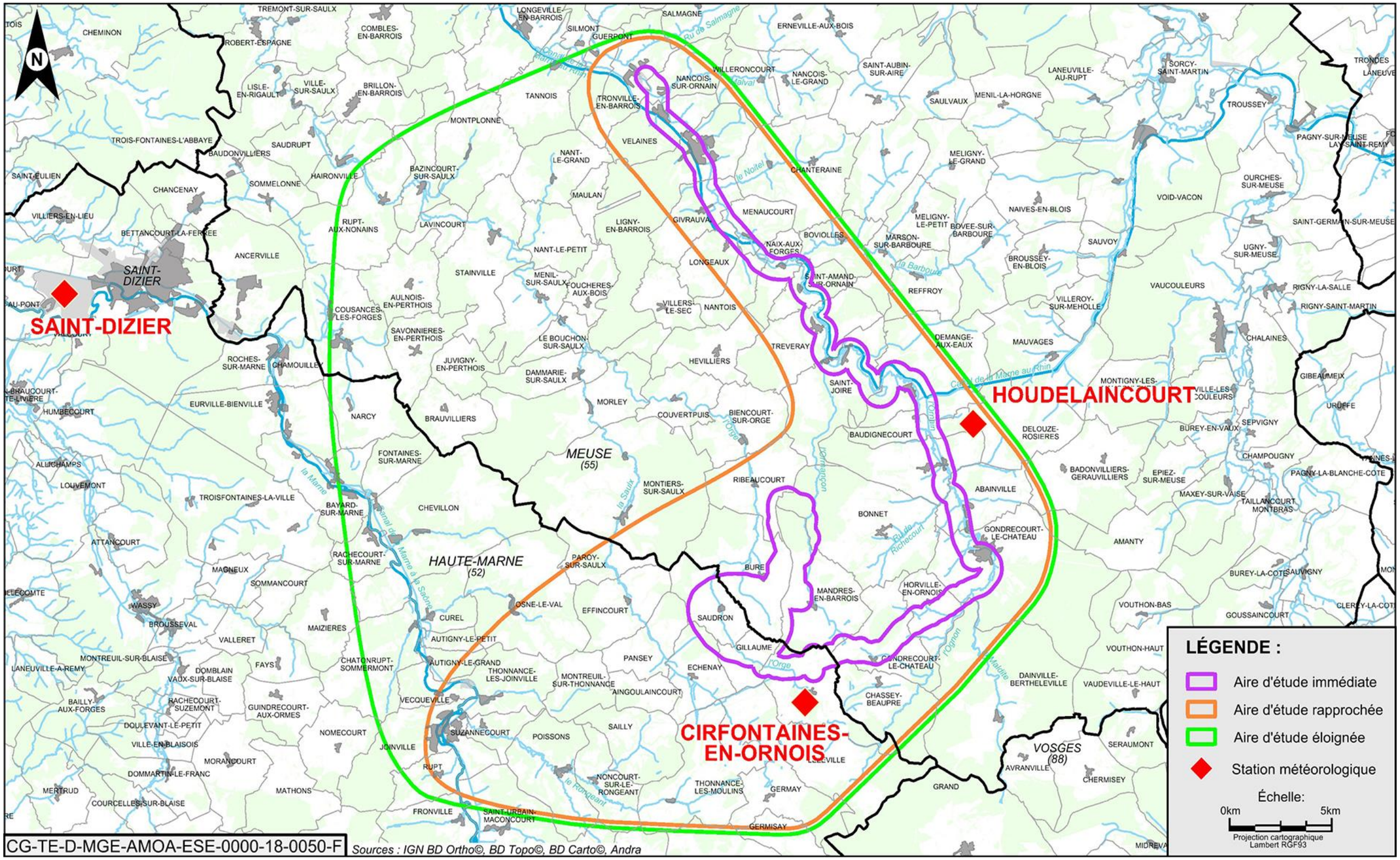


Figure 5-10 *Carte de localisation des stations de mesure pluviographiques*

5.2.5.2 Caractéristiques 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 min à 72 h 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 ASN n° 13 (37) 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 correspondant 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 h à 72 h 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.

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 6 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 dimensionnant 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, Favre et Musy, 2008 (38)). L'utilisation du formalisme de Weiss pour « recentrer » les pluies est préconisée par le guide ASN n° 13 (37).

5.2.5.3 Liste des données d'entrée

Les données d'entrée sont les suivantes.

a) Coefficients de Montana

Tableau 5-14 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
St-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					

b) Quantiles de hauteur d'eau

Tableau 5-15 Données d'entrée – Quantiles de hauteur d'eau

Station	Période de retour	Durée de cumul	Ajustement fréquentiel		
			Organisme	Type d'ajustement	Résultat
St-Dizier	2,5,10,20, 30,50,100	6,15,30,60,120, 180,240,360,720, 1440,2880,5760	MeteoFrance	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	MeteoFrance	Extrêmes Généralisées – locale régionale (GEV – Loc. Reg.)	Val. médiane, borne inf. IC 95 %

Station	Période de retour	Durée de cumul	Ajustement fréquentiel		
			Organisme	Type d'ajustement	Résultat
					borne sup IC 95 %
Saudron	2,5,10,20, 30,50,100	60,120, 180,240,360,720, 1440,2880,5760	MeteoFrance	Shyreg	val médiane
Mandres	2,5,10,20, 30,50,100	60,120, 180,240,360,720, 1440,2880,5760	MeteoFrance	Shyreg	val médiane

Chroniques de pluies aux stations de mesures pluviométriques « laboratoire » et « Houdelaincourt ».

5.2.5.4 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.

a) Détermination des cumuls de hauteur de pluie selon la période de retour à durée de cumul fixée

Un des problèmes fréquemment posé 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.

Il convient toutefois de garder à l'esprit que l'hydrologie fréquentielle est un « choix » de démarche plus qu'un outil de prévision. Fondamentalement, les phénomènes hydrologiques au sens large (pluie, écoulement...) sont des phénomènes purement déterministes. Néanmoins, il est à ce jour impossible d'appréhender et de quantifier précisément les phénomènes sous-jacents à la survenue d'événements exceptionnels. L'analyse statistique constitue donc un outil puissant pour appréhender les phénomènes exceptionnels, à défaut de parfaitement les comprendre.

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, calculés notamment à partir de l'échantillon de mesures à disposition.

À ces fins, plusieurs lois statistiques (méthode GEV, méthode du renouvellement, Gauss, Galton) sont à notre disposition. Chacune d'elle s'adapte plus ou moins bien à l'ajustement de l'échantillon, selon la taille de celui-ci, et surtout la nature du phénomène considéré. Météo-France, via sa Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, met à jour tous les ans une base de données de durées de retour de pluies. Ces données font l'objet d'une validation systématique.

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 à 72 heures et des durées de retour de 2 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.

5.2.5.5 Détermination des coefficients de Montana

a) Objectif

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, 2 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 5-16 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.

b) 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).

c) Résultats

Les résultats sont présentés en annexe 3 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.

d) 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 %.

e) 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 celles 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 compensée, au moins en partie, par l'analyse fréquentielle régionalisée menée autour de cette station.

» À RETENIR

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 5-17 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 ans	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)	

5.2.5.6 Définition des pluies centennales de référence

L'emploi des deux types de pluies de projet est utilisé pour le centre de stockage Cigéo :

1. 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 ;
2. Une pluie de projet de type « Keiffer » pour la modélisation globale du réseau du centre de stockage Cigéo.

L'annexe 4 comprend pour les 2 types de pluie les objectifs des pluies définies, la méthodologie employée et les résultats obtenus.

5.2.5.7 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 5-11.

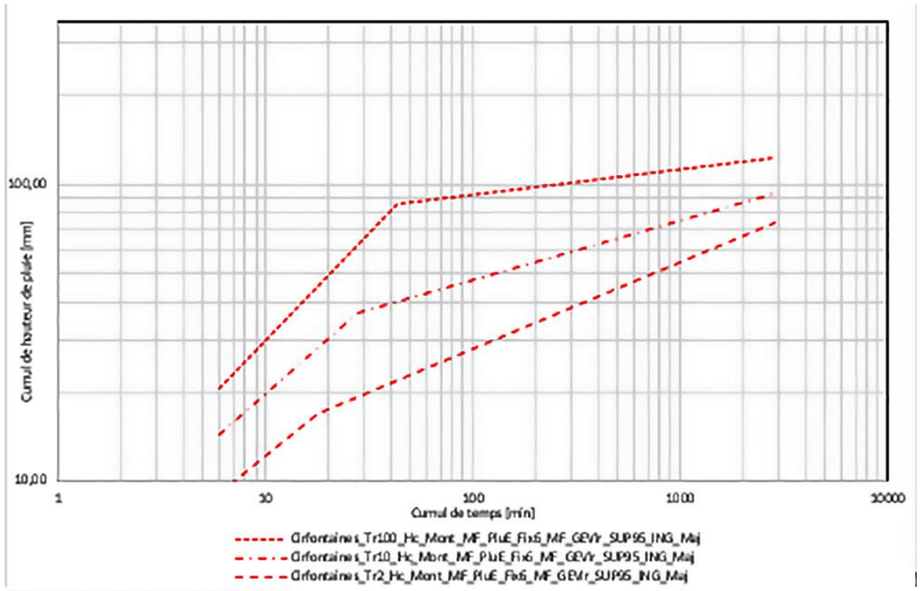


Figure 5-11 Cumul des pluies à Cirfontaines-en- Ornois

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 issue de la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % (Météo-France, 2017).

Tableau 5-18 Coefficients de Montana – Cirfontaines

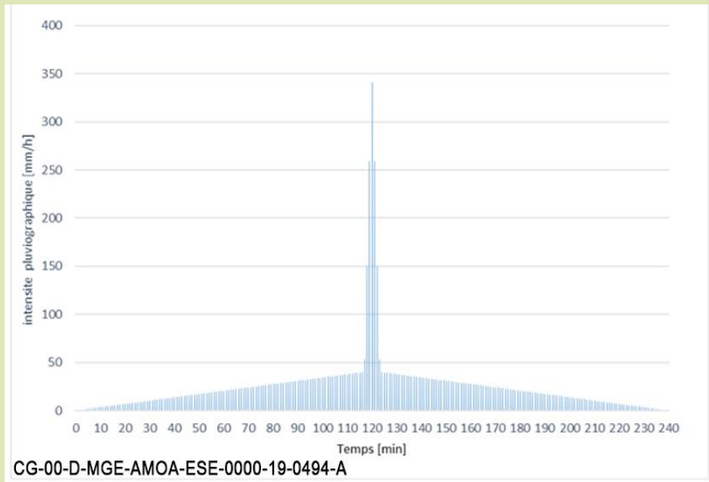
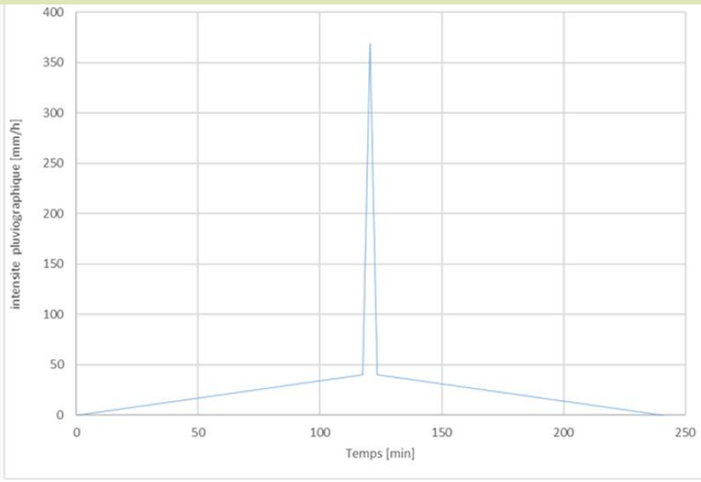
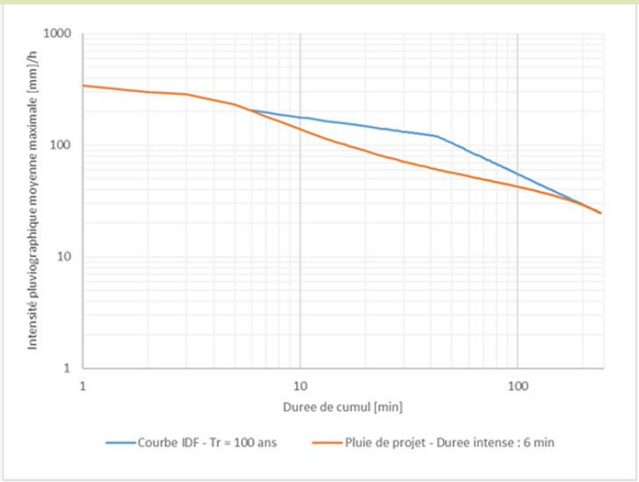
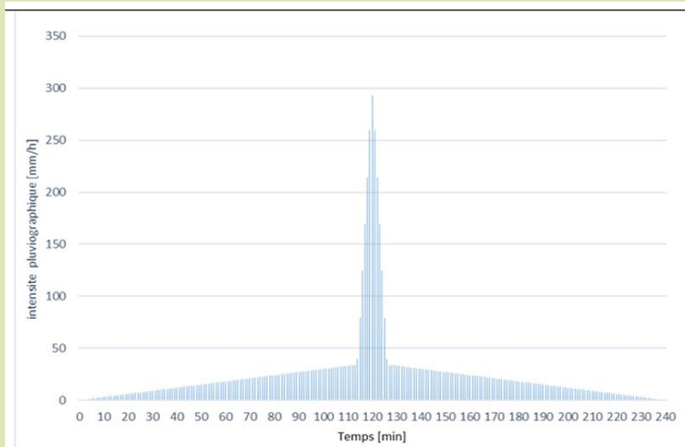
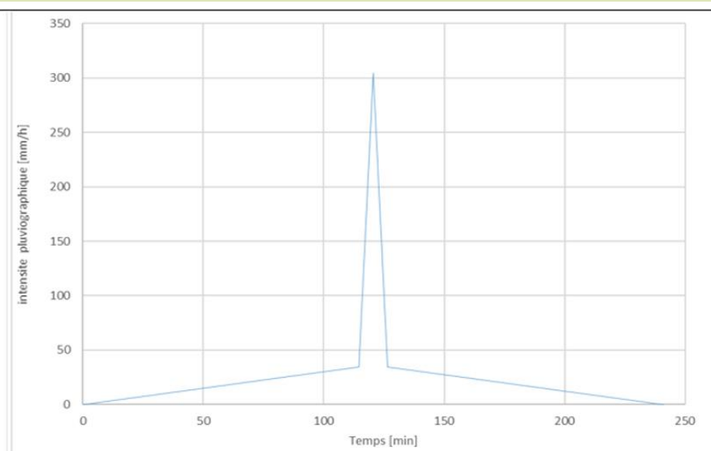
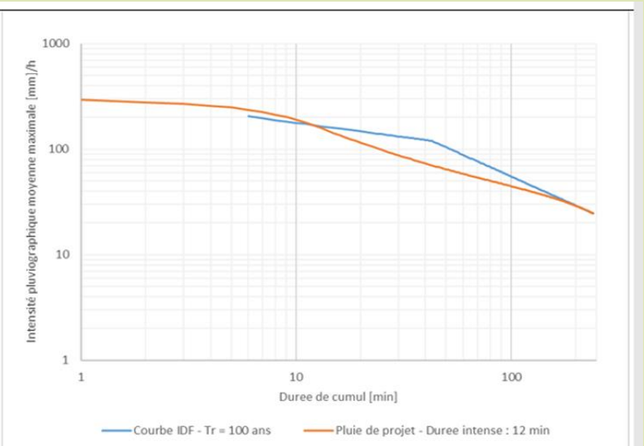
Station	Période de retour - T_{retour} [ans]	Domaine de validité - cumul de temps [min]		à [mm/min]	B [-]
		Borne Inf.	Borne Sup.		
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	6	18	3,326	0,437
Cirfontaines_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	18	2880	7,297	0,709
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	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

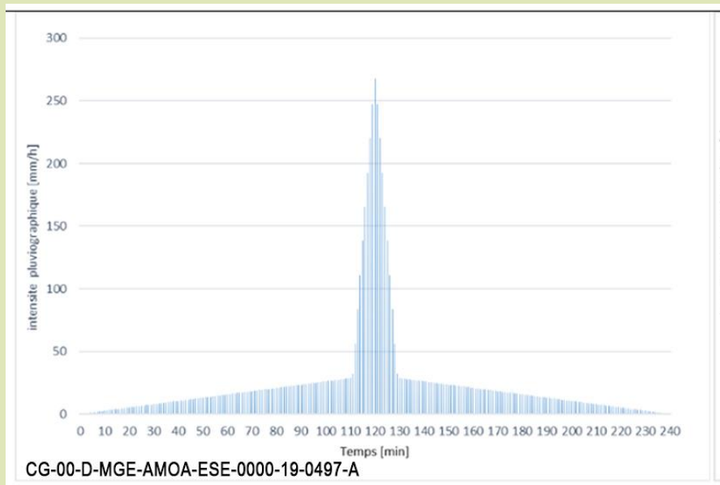
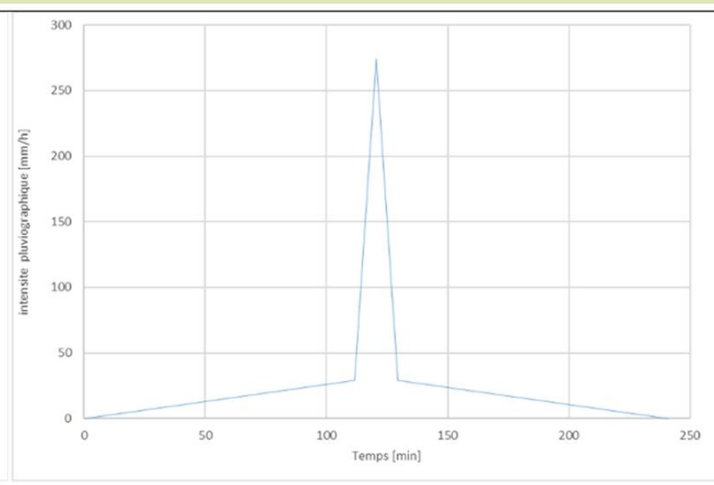
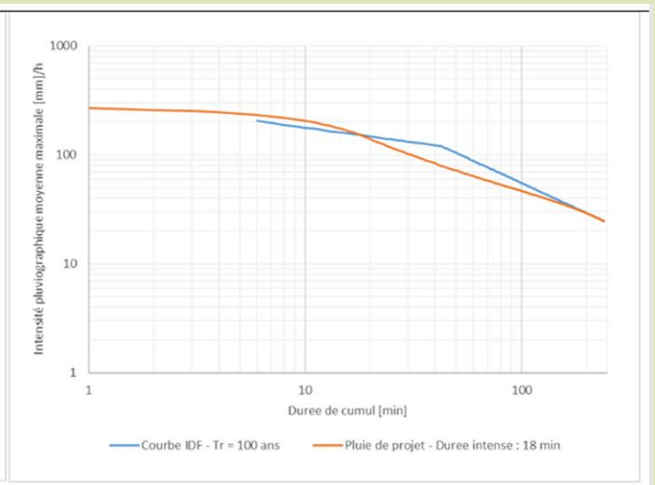
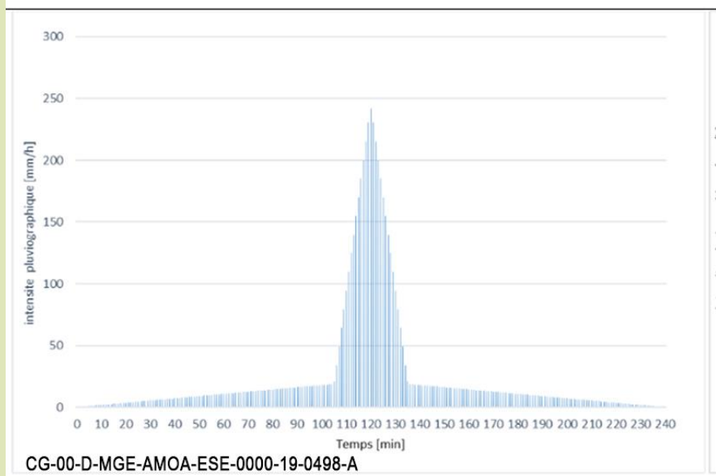
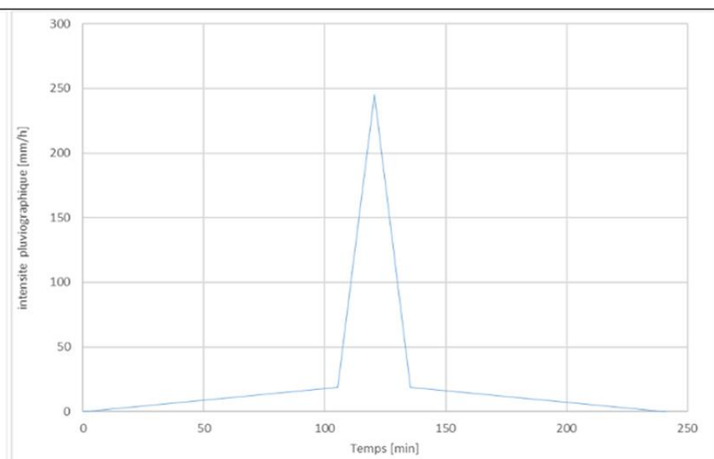
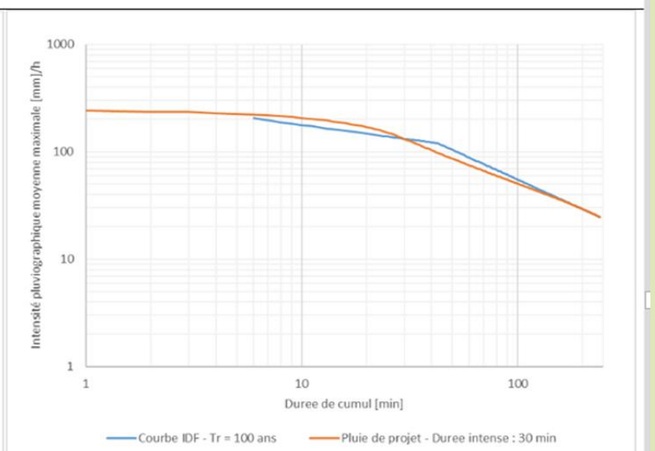
Les pluies de projet adoptées pour les modèles hydrauliques des réseaux du centre de stockage Cigéo sont des pluies « double-triangulaire » de durée globale de quatre heures et de durée intense variant entre six minutes à une heure. Les hyétogrammes instantanés sont rappelés ci-après. Le pas de temps de discrétisation est fixé à une minute. Si besoin, les hyétogrammes discrétisés sont présentés en tableau 5-19.

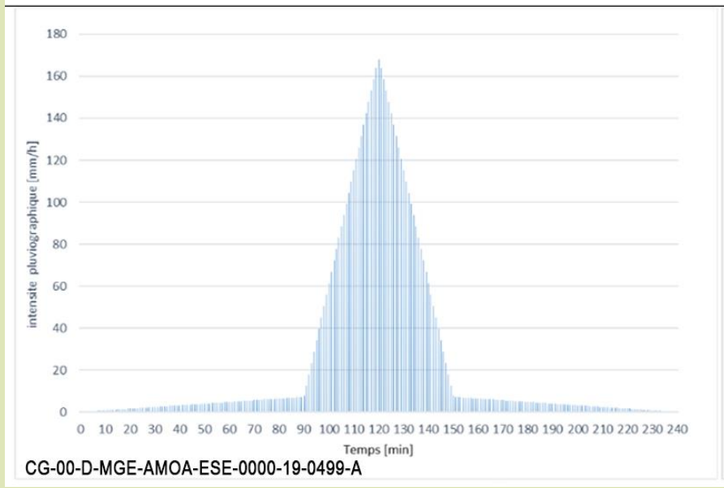
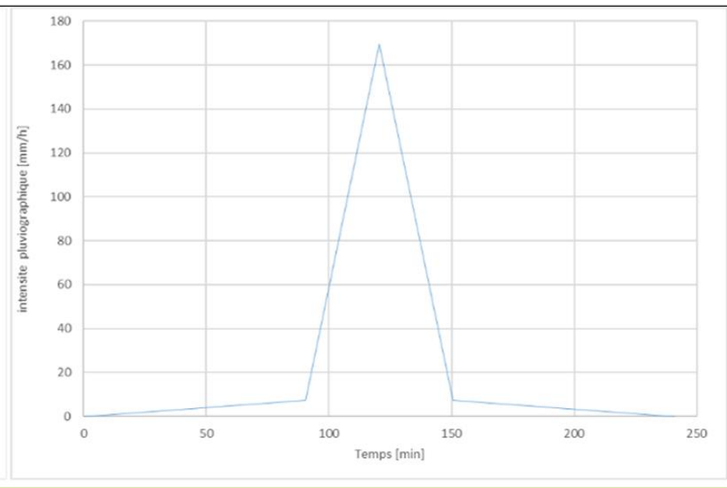
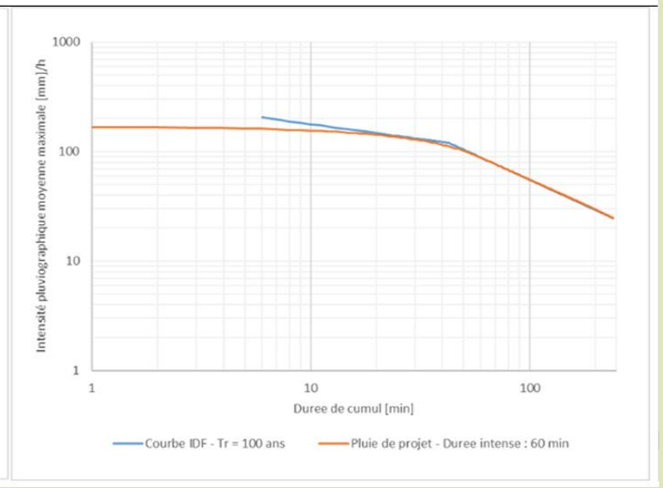
Tableau 5-19 *Hyétogrammes instantanés – Cirfontaines-en-Ornois*

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

Tableau 5-20 Pluies de projet – Station de Cirfontaines-en-Ornois

Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisée sur un axe IDF
6	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0494-A		
12	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0496-A		

Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisée sur un axe IDF
18	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0497-A		
30	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0498-A		

Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisée sur un axe IDF
60			

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).

5.2.6 Définition de l'impact qualitatif et quantitatif sur les masses d'eau superficielles

5.2.6.1 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 Volume I Chapitre 3.5.1, 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 (opération Andra) fait l'objet d'une étude de dimensionnement de ses dispositifs de collecte, stockage, traitement et rejet dans le milieu naturel.

5.2.6.2 Objectifs pour le centre de stockage Cigéo

a) Qualité des eaux

Pour que le centre de stockage Cigéo soit compatible avec les objectifs du SDAGE 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, sous réserve de la qualité des cours d'eau à l'amont.

Pour le volet biologie les organismes aquatiques présents dans la masse d'eau considérée : algues, invertébrés (insectes, mollusques, crustacés…) et poissons pris en compte sont décrits dans le chapitre 5.3.4 du volume III de la présente étude d'impact.

Pour le volet physico-chimie décrit au chapitre 5.3 du volume III de la présente étude d'impact, les paramètres pris en compte sont notamment l'acidité de l'eau, la quantité d'oxygène dissous, la salinité et la concentration en nutriments (azote et phosphore).

Contrairement à l'état chimique, l'état écologique s'apprécie en fonction du type de masse d'eau considérée, les valeurs seuils pour les paramètres biologiques notamment varient d'un type de cours d'eau à un autre. Ainsi, lorsqu'on parle d'écologie, les valeurs du bon état ne sont pas les mêmes pour un fleuve de plaine ou pour un torrent de montagne. Pour chaque type de masse d'eau, des sites de référence qu'on considère de bonne qualité ont été identifiés et servent d'étalon pour définir les seuils du bon état (cf. directive-cadre sur l'eau 2000/60/CE (9)).

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 (20).

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. Les programmes de suivi des milieux engagés par l'ANDRA au sein de l'observatoire permanent de l'environnement se poursuivent et participent à la maîtrise des engagements de l'Andra sur le respect du bon état des masses d'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) Quantité (débits)

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 actuel 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.

» DÉFINITION DU 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 5-12) 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 biennal, décennal et centennal 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.

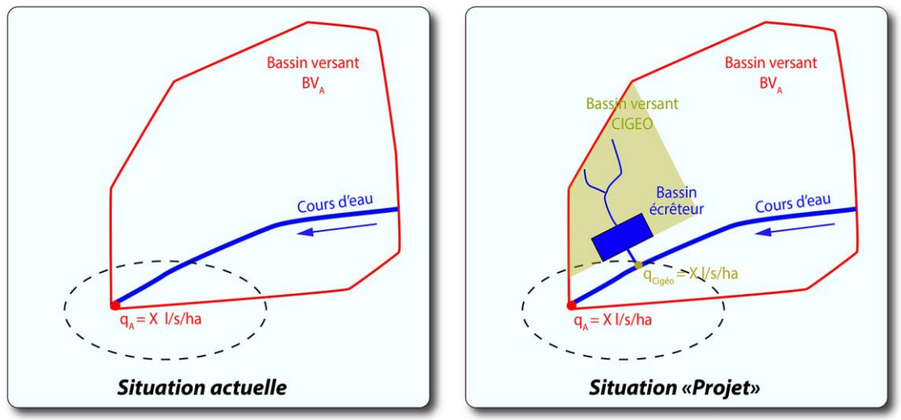


Figure 5-12 Illustration de la situation hydraulique avant et après projet

5.2.6.3 Dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales pour le centre de stockage Cigéo

a) Données utiles pour la détermination et la caractérisation des bassins versant actuels

Les données utilisées pour la délimitation et la caractérisation des bassins versants concernés par le centre de stockage Cigéo sont présentées dans le tableau 5-21.

Tableau 5-21 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

Les données d'entrée climatologiques

La grille d'utilisation des données climatiques en fonction des besoins de l'étude d'impact relative aux masse d'eau de surface est la suivante :

Tableau 5-22 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 ASN n°13 (37) 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 5-24).

Tableau 5-23 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 guide ASN n°13 (ASN, 2013)	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 (cf. Tableau 5-24)
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 SETRA 2006	**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 SETRA 2006	/
Dimensionnement d'un déversoir	Formule du déversoir en écoulement dénoyé	/

Coefficients de Montana

Les coefficients de Montana permettent d'agréger à l'aide de 2 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 ASN n° 13, 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 5-24.

Tableau 5-24 Coefficients de Montana pour les Tr = 10 ans et Tr = 100 ans

Station	T_{retour} [ans]	Durée Pluie inf [min]	Durée Pluie sup [min]	à [mm/min]	b [-]
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_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

Détermination des débits de pointe de crue décennal et centennal

» DÉFINITION DU DÉBIT DE POINTE

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 km^2, soit par la méthode Crupédix pour les bassins versants de plus de 10 km^2, soit encore par 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 (39)).

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 5-25.

Tableau 5-25 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 km^2)	6,903	16,14	13,36	75,70
Formalisme utilisé	Transition	Crupédix	Crupédix	-

Périodes de retour inférieures à Tr = 10 ans

Les méthodologies applicables aux périodes de retour supérieures à 10 ans ne sont pas applicables pour des périodes de retour inférieures.

Les débits effectifs de rejet du centre de stockage Cigéo pour les périodes de retour Tr = 2 ans et Tr = 5 ans sont déterminés à partir des débits spécifiques extraits à la station hydrométrique « La Saulx à Montiers-Sur-Saulx ».

Pour mémoire, la station de Montiers-sur-Saulx draine une surface bien supérieure à celle des bassins versants des cours d'eau concernés par le centre de stockage Cigéo.

Par conséquent, les débits spécifiques biennal et quinquennal extraits de cette station hydrométrique sont inférieurs aux débit spécifiques correspondants des versants des rivières concernées par le centre de stockage Cigéo en leur point de rejet.

- **Formalismes employés**

  Le présent paragraphe 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 5-26.

Tableau 5-26 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 5-27.

Tableau 5-27 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 h
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. 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.

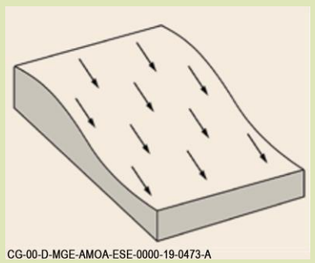
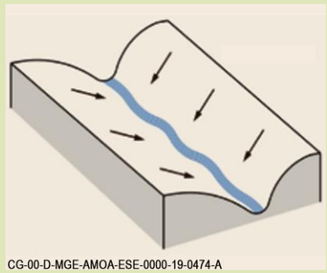
La formulation est décrite par l'équation 1 du tableau 5-28.

Tableau 5-28 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 5-29.

Tableau 5-29 Équation 2 - Formalisme de la méthode rationnelle

<table>
<tr><th></th><th colspan="5">Période de retour T = 10 ans</th><th>Période de retour T >10 ans</th></tr>
<tr><td rowspan="11">Fonction de production
Coefficient de ruissellement</td><td>Couverture végétale</td><td>Pente</td><td>Terrain sable grossier</td><td>Terrain limoneux</td><td>Terrain argileux</td><td rowspan="11">$C_{100} = 0{,}8 \times (1 - \frac{P_0}{P_{(t)}})$ 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)
$P_0 = \left(1 - \frac{C_{10}}{0.8}\right) \times P_{10}$
P_{10} : Hauteur de pluie journalière décennale [mm]
$P_{(T)}$ [mm] : Hauteur de pluie journalière à la période de retour T</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Bois</td><td>< 5 %</td><td>0,10</td><td>0,30</td><td>0,40</td></tr>
<tr><td>5 < p < 10 %</td><td>0,25</td><td>0,35</td><td>0,50</td></tr>
<tr><td>10 < p < 30 %</td><td>0,30</td><td>0,50</td><td>0,60</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Pâturage</td><td>< 5 %</td><td>0,10</td><td>0,30</td><td>0,40</td></tr>
<tr><td>5 < p < 10 %</td><td>0,15</td><td>0,36</td><td>0,55</td></tr>
<tr><td>10 < p < 30 %</td><td>0,22</td><td>0,42</td><td>0,60</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Culture</td><td>< 5 %</td><td>0,30</td><td>0,50</td><td>0,60</td></tr>
<tr><td>5 < p < 10 %</td><td>0,40</td><td>0,60</td><td>0,70</td></tr>
<tr><td>10 < p < 30 %</td><td>0,53</td><td>0,72</td><td>0,82</td></tr>
<tr><td>Vitesse d'écoulement [m/s]</td><td colspan="5">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</td><td>-</td></tr>
</table>

	Période de retour T = 10 ans	Période de retour T >10 ans
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) $P_{(T)}$ [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 tableau 5-24. 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 5-30. 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 5-30 *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 5-31).

Tableau 5-31 *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 5-32) sous-entend une croissance du débit à l'exutoire du bassin versant.

Tableau 5-32 *Équation 3- Formalisme de la méthode de Crupédix*

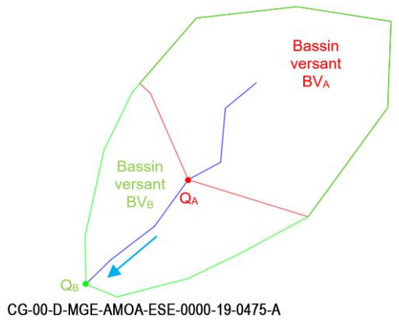
$Q_{10.pointe} = S^{0.8}\left(\frac{P_{J.10}}{80}\right)^2 \times R = \alpha\ S^{0.8}$ Avec $\alpha = \left(\frac{P_{J.10}}{80}\right)^2 . R$	Q_{10} (m³/s): Débit de pointe décennale S (m²) : Superficie du bassin versant Pj_{10} (mm) : Pluie journalière maximale annuelle décennale R : Coefficient régional 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 Tableau 5-33). 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.

Tableau 5-33 *Équation 3 Formalisme de la méthode d'extrapolation de Myer*



CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0475-A

$Q_A = \alpha\ S_A^{\beta}$

$Q_B = \alpha\ S_B^{\beta}$

$Q_B = Q_A\left(\frac{S_B}{S_A}\right)^{\beta}$

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

- 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 5-34.

Tableau 5-34 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 5-35 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 5-36).

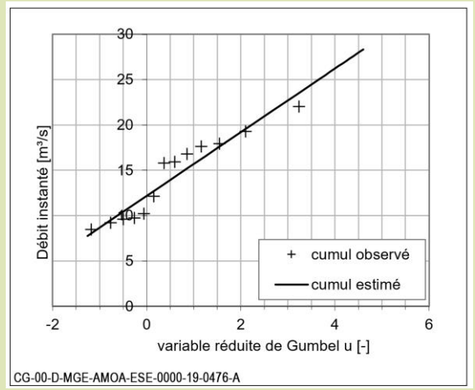
Tableau 5-36 Équation 1 : Formalisme de transition– formule mixte

$Q_{(T)} = \alpha . Q_{(T).R} + \beta \times Q_{(T).C}$	$Q_{(T).R}$: 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 5-37.

Tableau 5-37 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.

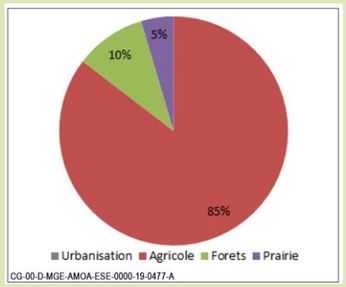
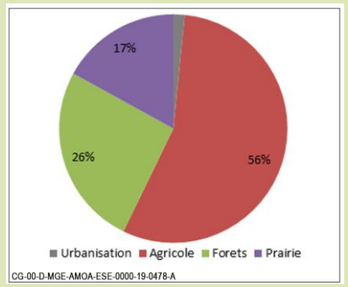
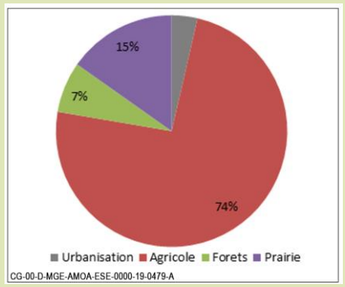
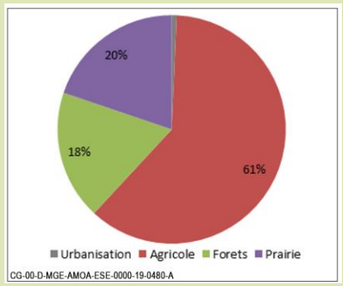
Station hydrométrique	La Saulx à Montiers-sur-Saulx (55)
Exploitant	Météo-France
Période de retour [ans]	2 ans (soit u(Tr = 2 ans) = 0,37) 10 ans (soit u(Tr = 10 ans) = 2,25)
Valeur médiane débit Q_{Tr} [m³/s]	$Q_{2.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 13,5 m³/s $Q_{5.\ Montiers\text{-}sur\text{-}Saulx}$ = 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

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.

Le tableau 5-38 synthétise, à l'aide d'indicateurs globaux, l'ensemble des caractéristiques des bassins versants susceptibles d'influencer le régime d'écoulement.

Tableau 5-38 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 affleurante	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.*

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.

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 2 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 acceptable 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 2 du SDAGE 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 ASN n° 13 (37) paragraphe 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 5-39 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 11mm), soit de collecter une pluie de 22 mm (sécuritaire). Néanmoins, 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 2 ans.

Type de pluie	Objectif	Période de retour	Commentaires
« 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 du bassin qualitatif devant récupérer la pollution est en 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 2 ans.

5.2.7 Dimensionnement des stations d'épuration au droit de la zone descenderie et la zone puits du centre de stockage Cigéo

5.2.7.1 Calcul de la capacité de traitement

Les stations d'épuration sont construites en phase d'aménagements préalables, puis mise 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.

Pour l'aspect quantitatif, il 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.

  La somme de ces deux estimations fournit le dimensionnement recherché, soit une charge hydraulique exprimée en $m^3.j^{-1}$.

  Le premier terme ($m^3.j^{-1}$) est défini à partir des effectifs maximums au sein de chaque période et par le besoin en eau par jour par personne, lequel est 0,075 $m^3.j^{-1}$.

  Le second terme ($m^3.j^{-1}$) 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) ;
  - ✓ eaux liées au fonctionnement du tunnelier.

La charge hydraulique à traiter exprimée en équivalent habitant (EH) est obtenue 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.

- Pour l'évaluation de la charge polluante à traiter, une hypothèse a été établie pour permettre le calcul de la charge polluante à traiter :
  - ✓ 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 principalement issues des rejets par les effectifs (personnel) présent 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 5-40 Concentrations en pollution – Eaux usées domestiques

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)	600
Azote Kjeldahl (NTK)	100
Phosphore total (Pt)	15

  - ✓ 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 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 modifié le 25 octobre 2018 (40).

Tableau 5-41 Concentrations en pollution – eaux industrielles associées aux eaux de lavage

Paramètres	Concentration en mg/l	Paramètres	Concentration en mg/l
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO5)	800	Azote Kjeldahl (NTK)	100
Demande chimique en oxygène (DCO)	2 000	Phosphore total (Pt)	15
Matières en suspension (MES)	600		

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 5-42 Concentrations en pollution retenues pour les eaux 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 :

- Méthodologie de calcul des niveaux de rejet

L'ensemble des calculs est conduit selon le principe de la conservation des charges :

Charge aval = charge amont + charge rejet

$$C2 \times (QMNA5 + QSTEP) = C1 \times QMNA5 + CSTEP \times QSTEP$$

Avec :

- le débit d'étiage du milieu récepteur, assimilé au débit mensuel quinquennal sec (QMNA 5) ;
- le débit du rejet de la station d'épuration (QSTEP) ;
- une gamme de concentrations du milieu à l'amont du rejet à l'étiage C1 ;
- une gamme de concentrations du milieu visée au point de rejet C2 ;

C 2 doit respecter la limite inférieure du bon état écologique pour le paramètre donné.

» PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT

Tous les dimensionnements sont réalisés en considérant la période d'assec des cours d'eau, milieu récepteur des rejets, pour atteindre le bon état chimique et écologique des eaux superficielles

Les niveaux de qualité requis pour la réutilisation des eaux usées pour différents usages sont également définis comme paramètre de dimensionnement de la chaîne de traitement.

Tableau 5-43 Exigences minimales pour la réutilisation des eaux usées épurées en fonction de l'usage

Paramètre	Unité	Guidelines for water reuse - EPA – 2012 (41) Appliquées à la fabrication du béton	Norme béton NF EN 1008 (42)	Niveau A Arrêté 25 juin 2014 (43) pour l'arrosage
Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO5)	mg/l	30	-	-
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	-	-	60
Matières en suspension (MES)	mg/l	30	-	15
Coliformes fécaux	/100 ml	14*	-	250
Chlore résiduel	mg/l Cl 2	1	-	-
Nitrates (NO 3)	mg/l	-	500	-
Phosphore total (Pt)	mg/l	-	-	-
Entérocoques fécaux - abattement	log	-	-	≥ 4
Phages ARN F - spécifiques - abattement	log	-	-	≥ 4
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices - abattement	log			≥ 4
Orthophosphates (P2O5)	mg/l		100	

5.3 Disponibilité durable de la ressource en eau

Dans l'étude d'impact du projet global Cigéo, la disponibilité durable des ressources s'envisage selon cinq angles :

- 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 ;
- du niveau de protection des aires d'alimentation des captages.

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 dans les installations de fond, par essence confinées).

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 pour « calibrer », au stade actuel de la faisabilité, le futur dispositif technique et la production liée au projet et aux collectivités.

Cette étude de faisabilité quantitative intègre toujours l'évolution du besoin des syndicats des eaux, partie liée aux perspectives de développement économique et des populations, mais aussi de l'amélioration du rendement (fuite des réseaux actuels) de distribution.

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, Artelia, février 2018) (44) ;
- 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 (45)
- procédure de définition des périmètres de protection des captages AEP d'Échenay, Révision, P. FRADET, novembre 2016 (46).

La concertation/conception de l'opération d'adduction d'eau avec les syndicats des eaux, se situe au niveau de l'esquisse, sans possibilité d'évaluer les impacts d'un quelconque tracé de canalisation ou d'aménagements complémentaires au renforcement futur (ex : réservoirs, passage des vallées, zones humides et cours d'eau). L'étude de faisabilité quantitative pour le raccordement du centre de stockage Cigéo au réseau local d'adduction est reprise ci-après.

5.3.1 Caractéristiques des ressources sollicitées

5.3.1.1 Captage de Gondrecourt-le- Château – nappe Kimméridgien-Oxfordien/Gestionnaire le syndicat intercommunal à vocation unique eau (SIVU) du Haut Ornain

Le SIVU du Haut-Ornain compte 1626 habitants desservis (Abainville, Chassey-Beaupré, Delouze-Rosières, Gondrecourt-le-Château) (source : Observatoire national des services d'eau et d'assainissement). En 2017, le prélèvement enregistré pour Gondrecourt-le-Château est de 151 561 m^3 (source BNPE mise à jour le 12 septembre 2019).

Le forage de la Muleau référencé sous le n° 02662X0028/F sur la commune de Gondrecourt-le-Château a fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique en date du 26 janvier 1983.

Le forage est autorisé à prélever au milieu un débit de 100 $m^3.h^{-1}$ pour un total de 1 200 $m^3.j^{-1}$, soit un prélèvement de 12 heures par jour. À la demande du SIVU du Haut Ornain, des essais de pompage au captage de La Muleau ont permis de confirmer la capacité du forage de la Muleau au regard de son arrêté de déclaration d'utilité publique et du débit horaire d'exploitation. Le rapport d'interprétation des essais conclut que le captage présente des caractéristiques techniques satisfaisantes (coupe technique de l'ouvrage confirmée - bon état structurel des tubages en acier). Il propose la mise en œuvre d'action mineure : nettoyage de la crépine afin de restaurer la productivité, nettoyage du fond de l'ouvrage. Un débit d'exploitation compris entre 90 $m^3.h^{-1}$ et 100 $m^3.h^{-1}$ envisageable jusqu'à 20 h par jour est jugé possible avec le risque, ors du régime maximum, d'un dénoiement partiel de la crépine et donc de corrosion accélérée de cette dernière.

5.3.1.2 Captages d'Échenay – nappe Kimméridgien-Oxfordien/Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable (SIAEP) de la région d'Échenay

Le SIAEP de la Région d'Échenay compte 429 abonnés d'eau potable et 683 habitants desservis en 2018 (Aingoulaincourt, Bure, Échenay, Effincourt, Gillaumé, Mandres En Barrois, Montreuil-Sur-Thonnance, Pancey, Paroy-Sur-Saulx, Saudron) (source : Observatoire national des services d'eau et d'assainissement). En 2017, le prélèvement enregistré pour Échenay est de 113 415 m^3 (source BNPE mise à jour le 12 septembre 2019).

L'alimentation en eau du SIAEP de la Région d'Échenay est réalisée depuis deux ressources, situées sur le territoire communal d'Échenay, à l'extrémité de la rue des Écoles :

- source de Massonfosse (BSS000UNHQ) ;
- le forage de 1977 (c BSS000UNJP) créé pour renforcer la ressource exploitée de la source en période d'étiage.

La source de Massonfosse et le forage 1977 ont fait l'objet d'un arrêté de déclaration d'utilité publique en date du 5 décembre 2008.

L'arrêté de déclaration d'utilité publique prescrit un prélèvement du captage de la source de Massonfosse limitée à 35 $m^3.h^{-1}$ et un prélèvement du forage 1977 limité à 6 $m^3.h^{-1}$, soit pour les 2 ouvrages un débit cumulé disponible de 984 m^3/j (41 m^3/h).

5.3.1.3 Sources de Thonnance-lès-Joinville – nappe Kimméridgien-Oxfordien/Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable (SIAEP) de de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt

Le service d'eau potable du SIAEP de Thonnance/Suzannecourt compte 547 abonnés (soit 1 189 habitants desservis sur Suzannecourt et Thonnance-lès-Joinville, source : Observatoire national des services d'eau et d'assainissement). En 2017, le prélèvement enregistré pour Thonnance-lès-Joinville est de 158 896 m^3 (source BNPE mise à jour le 12 septembre 2019).

Le SIAEP de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt est alimenté en eau à partir de deux ressources, situées en bordure de la route départementale D60 :

- la source de Claire-Fontaine (BSS000UNFP) ;
- la source du Mont (BSS000UNET).

L'arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique des deux sources date du 17 avril 1987 et ne fixe pas de limite de prélèvement sur les sources de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt.

Des mesures de débits, réalisées à l'étiage en 2015 par le SIAEP de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt ont mis en évidence un important potentiel des sources de Thonnance-lès-Joinville : 88 m^3/h en période d'étiage. En effet, il n'existe pas de compteur de production au niveau des sources. Le rapport préconise de confirmer le débit d'étiage par la réalisation de mesures de débits et de qualité sur un cycle hydrologique complet, notamment pour évaluer tout risque de conflit d'usage avec le ru du Mont demandant un débit d'étiage de 40 l/s.

Les deux sources de Claire Fontaine et du Mont alimentent gravitairement la bâche de reprise de Jainval, située sur le territoire communal de Thonnance-lès-Joinville. Le volume disponible est le volume refoulé depuis la bâche de reprise de Jainval. Il s'élevait en 2016 à 58 479 m^3 soit 157 $m^3.j^{-1}$.

5.3.1.4 Synthèse

La capacité de production des trois captages est suffisante au regard du besoin en eau du centre de stockage Cigéo.

5.3.2 Estimation des besoins en eau potable du centre de stockage Cigéo et des collectivités

L'analyse des incidences sur la ressource en eau tient compte des besoins du centre de stockage Cigéo et des besoins liés à une augmentation potentielle des populations (en lien avec les effets induits du projet global Cigéo sur le territoire, sur les emplois et donc, sur la démographie).

» HYPOTHÈSES PRISES POUR L'ESTIMATION DES BESOINS EN EAU POTABLE DU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO

L'étude de faisabilité a été faite avec des besoins en eau du centre de stockage Cigéo encore non optimisée de l'ordre de 750 m^3/j..

5.3.2.1 Besoins du centre de stockage Cigéo

La réalisation du centre de stockage Cigéo, puis son fonctionnement requiert un approvisionnement en eau potable (la mesure de réduction avec le recyclage des eaux transitant par les stations d'épuration pour des usages nécessitant une eau non potable est déjà considérée).

Les besoins optimisées actuellement estimés, tenant compte des pics de consommation, s'élèvent, en pic de consommation, à environ 500 $m^3.j^{-1}$ en phase d'aménagements préalables (l'absence des dispositifs de traitement, puis de recyclage des eaux pour un usage interne), 500 $m^3.j^{-1}$ en phase de construction et 200 $m^3.j^{-1}$ en phase de fonctionnement (cf. Chapitre 4.4.2 du volume II de la présente étude d'impact).

Les incidences liées à l'utilisation de la ressource par le centre de stockage Cigéo ont été évaluées au moyen des volumes présentés ci-avant en considérant un premier pic de besoin pendant la phase d'aménagements préalables et de construction initiale, puis un second pic de besoin en phase de fonctionnement (cf. Tableau 5-44). Ces pics de consommation du centre de stockage Cigéo sont limités dans le temps, de sorte que l'incidence potentielle quantitative du projet sur la ressource en eau est à considérer comme étant évaluée de façon « enveloppe » ou majorée.

Tableau 5-44 Volume considéré pour les études d'incidence du projet sur la disponibilité de la ressource en eau

Besoins en eau potable	Structure de raccordement	Situation actuelle	Situation future (phases d'aménagement préalables/phase de construction initiale)	Situation future (phase de fonctionnement)
Besoin du centre de stockage Cigéo ($m^3.j^{-1}$)	SIAEP Échenay SIAEP Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt	-	250	50
	SIVU Gondrecourt-le-Château	-	500	200

5.3.2.2 Besoin des collectivités

Les besoins connus du territoire ont également été pris en compte lors de la réalisation du bilan « besoins/ressources » et considérés à l'identique pour les phases d'aménagements préalables et de construction initiale d'une part, et en phase de fonctionnent d'autre part.

Parmi les besoins connus ont été recensés les besoins liés :

- au projet d'aménagement d'une zone d'activité sur la commune de Saudron, alimentée par le SIAEP d'Échenay. Le besoin en eau supplémentaire est de l'ordre de 50 $m^3.j^{-1}$;
- à l'aménagement d'une zone d'activités avec notamment l'implantation d'une blanchisserie industrielle sur la commune de Suzannecourt, alimentée par le SIAEP de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt. Le besoin en eau supplémentaire est de l'ordre de 150 $m^3.j^{-1}$ en moyenne.

Les besoins actuels en eau et les besoins futurs du SIAEP de la région d'Échenay sont présentés dans le tableau 5-45.

Tableau 5-45 Besoins en eau actuels et futurs du SIAEP de la région d'Échenay

Besoins en eau	Situation actuelle	Situation future (phases d'aménagement préalables/phase de construction initiale)	Situation future (phase de fonctionnement)
Jour moyen ($m^3.j^{-1}$)	300	350	350
Jour de pointe ($m^3.j^{-1}$)	550	600	600

Les besoins en eau actuels et futurs du SIAEP de Thonnance/Suzannecourt sont présentés dans le tableau 5-46.

Tableau 5-46 *Besoins en eau actuels et futurs du SIAEP de Thonnance/Suzannecourt*

Besoins en eau	Situation actuelle	Situation future (phases d'aménagement préalables/phase de construction initiale)	Situation future (phase de fonctionnement)
Jour moyen ($m^3.j^{-1}$)	160	310	310
Jour de pointe ($m^3.j^{-1}$)	227	377	377

Aucun projet n'a été identifié au droit du SIVU de Gondrecourt-le-Château au moment de l'étude de disponibilité de la ressource.

5.3.3 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 suivant les besoins en eau des phases d'aménagements préalables et construction initiale d'une part et de la phase de fonctionnement d'autre part.

5.3.3.1 Bilan besoins/ressources pour un raccordement depuis la Haute-Marne

Le tableau 5-47 présente le bilan besoins/ressources pour une alimentation depuis les captages d'Échenay et les sources de Thonnance-lès-Joinville en secours.

Tableau 5-47 *Bilan besoins ressources depuis les captages ou sources des SIAEP d'Échenay et de Thonnance-lès-Joinville/Suzannecourt*

	Nom des ressources	Captage de Massonfosse (Échenay) et source du Mont (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 m^3 un jour moyen et de 1 875 m^3 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 m^3 un jour moyen et de 1 425 m^3 un jour de pointe par rapport à la capacité des équipements en place
Situation future (phase de fonctionnement)	Bilan besoins/ressources	Excédent de 1 942 m^3 un jour moyen et de 1 625 m^3 un jour de pointe par rapport à la capacité des équipements en place

» SYNTHÈSE SUR LA FAISABILITÉ QUANTITATIVE DE L'OPÉRATION D'ADDUCTION D'EAU DU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO DEPUIS LA HAUTE-MARNE

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.

5.3.3.2 Bilan besoins/ressources pour un raccordement depuis la Meuse

Le tableau 5-48 présente le bilan besoins/ressources pour une alimentation depuis le captage de la Muleau géré par le SIVU de Gondrecourt-le-Château.

Tableau 5-48 *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 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 m^3 un jour moyen par rapport à la capacité des équipements en place	Excédent de 455 m^3 un jour par rapport à la capacité des équipements en place

» SYNTHÈSE SUR LA FAISABILITÉ QUANTITATIVE DE L'OPÉRATION D'ADDUCTION D'EAU DU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO DEPUIS LA MEUSE

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.

6

Biodiversité et milieu naturel - Méthodes

6.1	État actuel du milieu naturel	86
6.2	Incidences sur le milieu naturel	98
6.3	Compensation écologique	100
6.4	Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000	106
6.5	Incidences sur les zones humides	112
6.6	Incidence sur les continuités écologiques	113

6.1 État actuel du milieu naturel

L'établissement de l'état actuel 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 : http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.fr/1188/carte_globale_R44.map ;
  - ✓ CARMEN Lorraine : http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/21/carte_globale_lorraine.map
  - ✓ CARMEN Champagne-Ardenne : http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/12/Patrimoine_naturel.map
- le site de l'INPN (inventaire national du patrimoine naturel) pour la consultation des fiches descriptives des différentes zones présentes :
  - ✓ https://inpn.mnhn.fr/accueil/index

6.1.2 Analyse bibliographique et réalisation d'inventaires faune-flore

6.1.2.1 Analyse bibliographique

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 été consultés :

Les sites des DREAL de Lorraine et Champagne-Ardenne, à présent regroupées en DREAL Grand Est :

- CARMEN Lorraine : http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/21/carte_globale_lorraine.map
- CARMEN Champagne-Ardenne : http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/12/Patrimoine_naturel.map ;
- Carte générale DREAL Grand Est : http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.fr/1188/carte_globale_R44.map ;
- www.faune-lorraine.org
- CPEPESC – Connaitre et protéger les chauve-souris de Lorraine, janvier 2009 (47)

Les données collectées dans le cadre du suivi environnemental du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ou de l'OPE (avant 2013) ont également été prises en compte comme données bibliographiques.

Enfin les informations (espèces et habitats) issues des fiches descriptives des zonages environnementaux présents dans l'aire d'étude éloignée ont été exploitées.

6.1.2.2 Inventaires de terrain

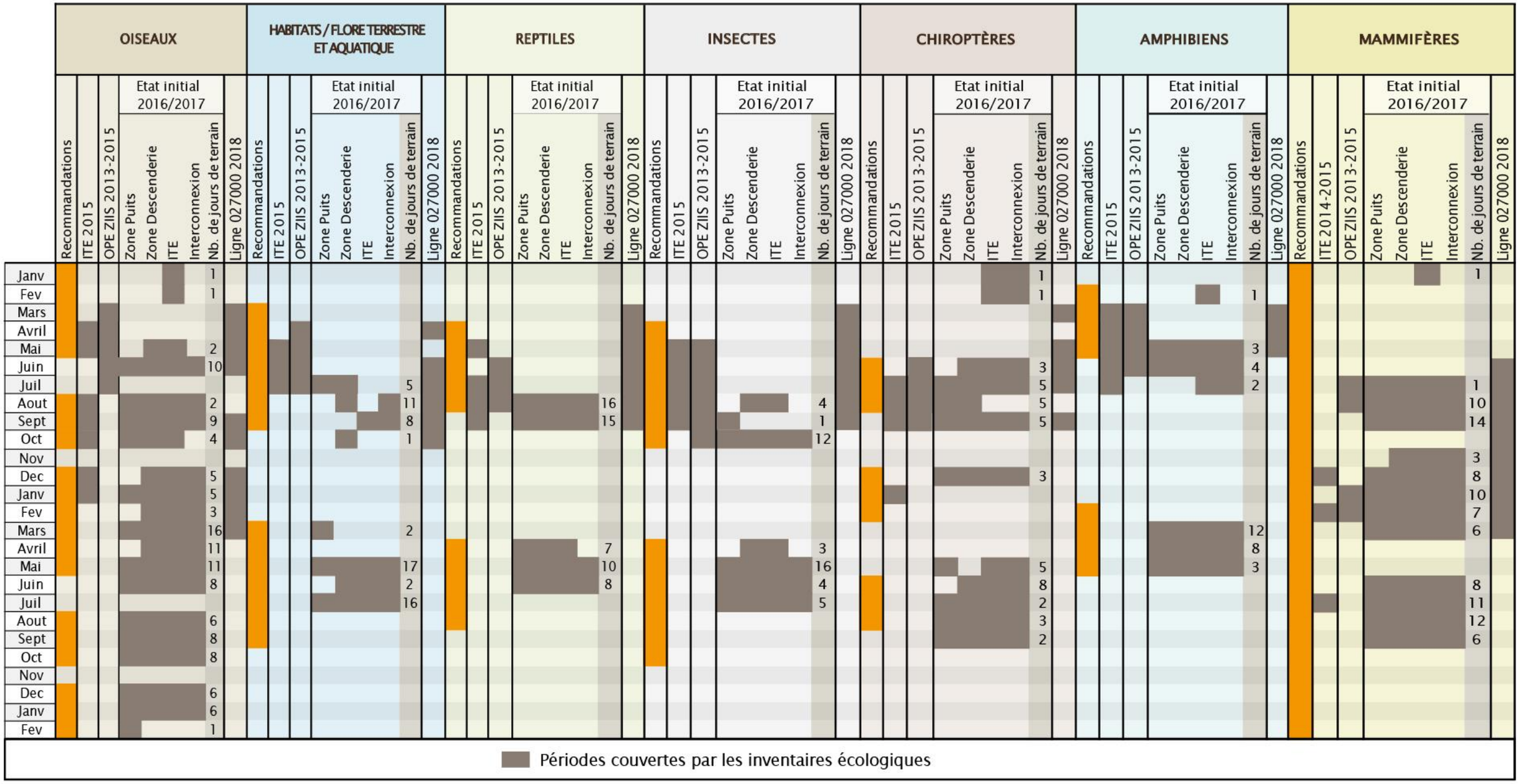
Les prospections écologiques commanditées par l'Andra sur les habitats, la flore et la faune et prises en compte dans le cadre de cette étude ont été effectuées de 2013 à fin 2017 pour le centre de stockage Cigéo. Les données collectées antérieurement ont été prises en compte comme données bibliographiques. Concernant la ligne 027 000, les inventaires ont eu lieu entre 2018 et mars 2019.

L'Andra a mandaté plusieurs associations et bureaux d'études spécialisés en vue d'obtenir la caractérisation de l'état actuel du milieu naturel sur l'aire d'étude immédiate du projet global. La liste des prestataires qualifiés qui sont intervenus est présentée dans le volume I.

Le tableau 6-1 ci-après présente 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. 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…

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.

Tableau 6-1 Efforts de prospections sur la période 2013-2018 pour les différentes zones correspondant au projet global Cigéo



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0476-D

La colonne libellée « recommandations » en orange identifie pour chaque groupe les périodes les plus propices pour la réalisation des inventaires de terrain.

Pour les inventaires poissons et mollusques plusieurs passages ont été effectués, sur un périmètre inclus dans l'aire d'étude éloignée (cf. Tableau ci-dessous).

Tableau 6-2 Dates de passage pour les inventaires des mollusques (2012-2014)

Groupe concerné	Dates de passage
Mollusques terrestres	24, 25 et 26/10/2012 20, 21 et 22/03/2013 16, 17 et 18/04/2014 4, 5 et 6/06/2014
Mollusques aquatiques	22, 23 et 24/04/2013 27 et 28/05/2013 15au 18/07/2013 06/06/2014 25, 26 et 27/06/2014

Pour les poissons, des pêches électriques ont été réalisées dans les principaux cours d'eau de l'aire d'étude éloignée de 2009 à 2017, ainsi qu'une recherche des zones de frayères (juin 2017 à janvier 2018).

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 (5 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 Forêts 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 6-1). 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 6-1).

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.

La carte suivante (cf. Figure 6-1) 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 document, ont été recensés tous les zonages du milieu naturel présents.

Les inventaires de terrain ont été menés sur l'aire d'étude immédiate (hors poissons et mollusques), mais avec des pressions d'inventaires différentes en fonction des opérations.

Les quelques secteurs de l'aire d'étude immédiate non encore couverts par des inventaires (zones bleues sur la figure 6-1) feront l'objet d'investigations de terrain sur la période allant de septembre 2019 à septembre 2020.

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 (emprises élargies à 500 m de part et d'autre). 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.

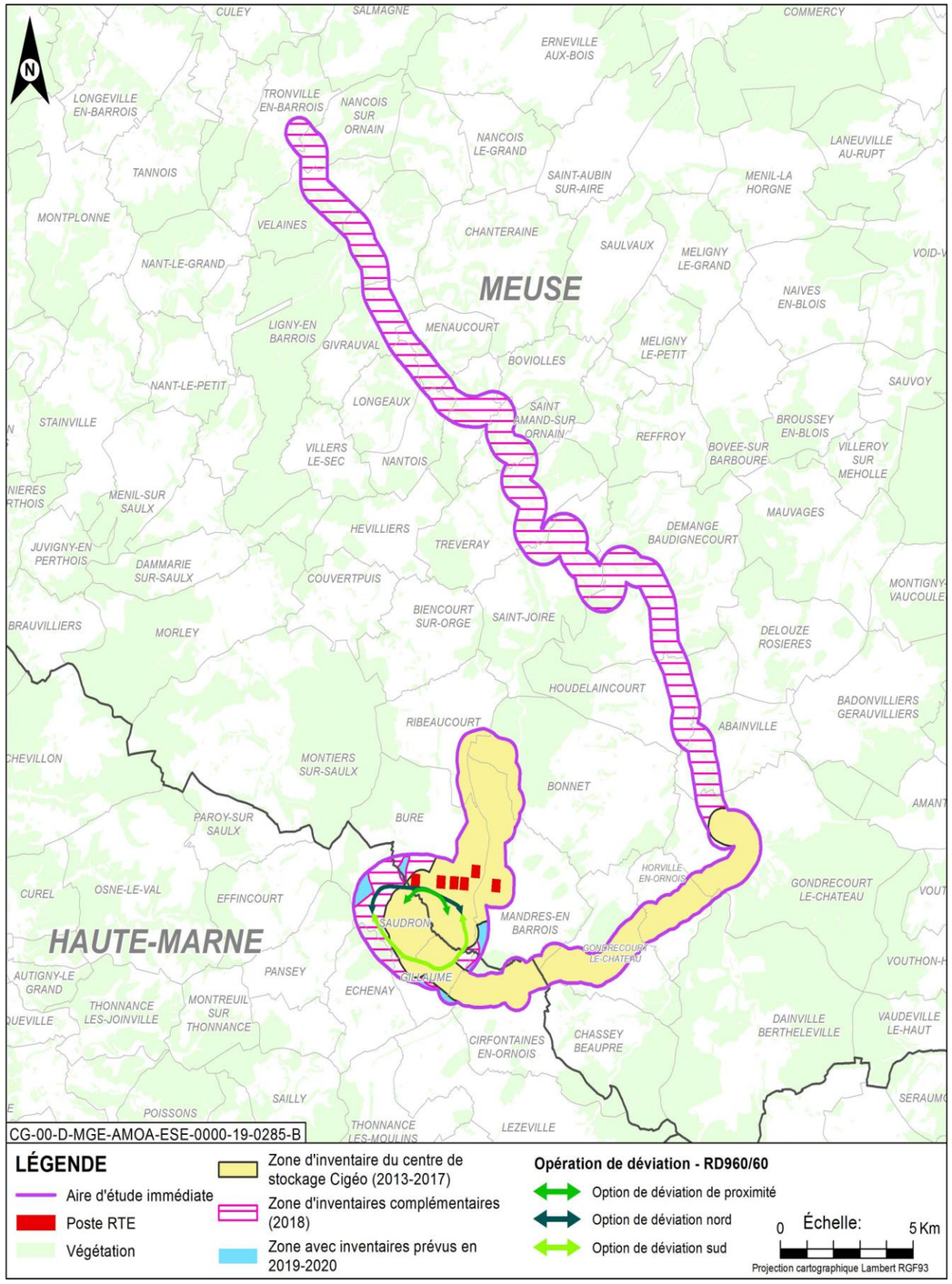


Figure 6-1 Localisation des zones d'inventaires sur le milieu naturel

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 document).

Pour l'établissement de l'état actuel des habitats et de la flore, plusieurs types de relevés sont mis en œuvre :

- Le **relevé 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. Ce type de relevé est essentiellement utilisé pour caractériser des habitats assez pauvres, comme les fruticées à *Prunus spinosa*, les haies, les bosquets, les cultures.
- Le **relevé phytosociologique** qui consiste à répertorier l'ensemble des espèces présentes au sein d'une aire minimale définie. 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) (48) 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 périodes de prospection mises en œuvre sont présentées dans le chapitre 6.1.2.2 du présent document.

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 invasives (ou 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 (49)).

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 (50), modifiée par la directive 2006/105/CE du conseil du 20 novembre 2006 (51), 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 désignation de zones spéciales de conservation ; l'annexe IV définit les espèces qui nécessitent une protection stricte) ;
- l'arrêté du 20 janvier 1982 (52) modifié relatif à la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire national ;
- l'arrêté du 3 janvier 1994 (53) précisant la liste des espèces végétales protégées en Lorraine complétant la liste nationale ;
- l'arrêté du 8 février 1988 (54) 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 (55))
- la liste rouge de la flore vasculaire de Lorraine (2015 (56)) ;
- la liste des espèces déterminantes de Lorraine (DREAL, Floragis, 2015 (57)) ;
- la liste des plantes exotiques envahissantes (CBNBP, 2018 (58))

6.1.3.3 Méthodologie pour l'étude des habitats et de la flore aquatique

Les inventaires des habitats et de la flore aquatique ont été menés dans les cours d'eau présents à proximité des emprises des installations du projet global Cigéo à savoir l'Orge, la Saulx, l'Ormançon, l'Ornain, la Maldite, l'Ognon et les ruisseaux du Naillemont, de la Bureau et de l'Étang, L'ensemble du linéaire est parcouru à pieds.

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).

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 actuel 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 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 m devant et sur un périmètre d'environ 1,50 m 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 qui accumulent la chaleur tout en servant d'abris et qui sont très prisés par les reptiles (cf. Figure 6-2).

Ces plaques sont disposées dans des sites potentiellement favorables aux reptiles 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[7]. 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.

Figure 6-2 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.

Les plaques reptiles sont déposées dans des zones favorables aux reptiles, telles les lisières, friches, clairières, bordures de haies. Ces milieux procurent en effet l'ensemble des éléments indispensables à la vie d'un reptile : de bonnes places d'héliothermie[6] et de thermorégulation[7], un abri sous le couvert végétal à proximité immédiate et des proies. 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 plaques sont disposées à même le sol, légèrement surélevées à l'aide de branches et de pierres afin de laisser un espace interstitiel pour que les reptiles puissent s'y glisser.

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.

[6] Désigne le fait, pour un reptile, d'utiliser directement la chaleur produite par le soleil pour augmenter sa température corporelle

[7] Régulation de la température corporelle (baisse de la température ou augmentation).

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).

a) 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 2017. 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.

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.

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.

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 passage). Elles ont été réalisées par météo clémente (pas de pluie, peu ou pas de vent).

b) 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. 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 m.

c) 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.

6.1.4.5 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).

L'objectif de ce suivi est d'établir un état actuel 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.

Les méthodes suivantes sont appliquées :

- mesure du taux d'activité des chiroptères par points d'écoute fixe ;
- évaluation de la richesse spécifique des différentes espèces par la réalisation de parcours à pied au cours des premières heures de la nuit ;
- recherche et contrôle de gîtes estivaux, de transit et/ou hivernaux ;
- recherche d'arbres gîtes dans les zones boisées.

Les prospections nocturnes ont été effectuées sous forme de points d'écoute d'une vingtaine de minutes qui ont permis d'obtenir des données spécifiques et quantitatives. 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, des enregistreurs à ultrasons de type BatCorder 2.0 et 3.0 et Mini BatCorder ont 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).

Concernant les gîtes, trois grands types sont susceptibles d'accueillir les chiroptères : les gîtes arboricoles (arbres creux, fissurés…), les gîtes anthropiques (bâtiments avec combles, caves, fissures, anciennes fortifications, ponts non jointés…) et les gîtes hypogés (fissures et failles rupestres, carrières souterrains, grottes…). Pour la recherche spécifique des arbres gîtes dans les zones boisées, 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.

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.

6.1.4.6 Protocoles d'observation des autres mammifères

En vue d'établir l'état actuel 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.

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…) ;
- des comptages nocturnes au phare ;
- l'utilisation de pièges pour les micromammifères hors périodes hivernales ;
- l'utilisation de pièges photographiques ;

- l'analyse des ossements de micromammifères contenus dans les pelotes de réjection des rapaces ;
- la recherche des indices de présence par temps de neige.

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 :

- 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 6-3), 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 5 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.

Figure 6-3 Illustration des pièges à crottes et pièges à poils (Source GREGE)

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 2009 à 2017 grâce à des pêches électriques (matériel équipé d'une anode pour 4 m 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 pieds 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.

Une recherche des zones de frai potentielles a été 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. 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.

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 (50). Les prospections de frayères potentielles se sont focalisées sur l'observation de la granulométrie du fond du lit mineur des cours d'eau.

6.1.4.8 Protocoles d'observation des mollusques

Une étude des mollusques terrestres (escargots et limaces) et mollusques aquatiques (bivalves et gastéropodes) a été réalisée entre 2012 et 2014 (cf. Tableau 6-2 du présent volume) :

- la recherche des mollusques terrestres est basée sur un recensement qualitatif des espèces et un échantillonnage quantitatif des individus dans des placettes de 4 m² ;
- la recherche des mollusques aquatiques est effectuée à l'aide de bathyscopes (lunettes sous-marines qui permettent de voir sous l'eau dans de petits fonds sans se mouiller) ou d'épuisettes. Elle a concerné douze stations d'observation réparties sur les cours d'eau de la zone OPE comprenant la Saulx, l'Orge, l'Ornain, l'Ormançon et la Bureau, ainsi que des plans d'eau comprenant Ribeaucourt, Houdelaincourt, Gillaumé et Cirfontaines-en-Ornois.

Les enjeux sur ce groupe étant faibles, il n'y a pas eu de suivi réalisé depuis 2014.

6.1.5 Délimitation des zones humides

La délimitation des zones humides est réalisée selon la réglementation du 26 juillet 2019.

L'article L. 211-1 du code de l'environnement définit les zones humides comme « les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

L'arrêté du 24 juin 2008 (59) précise la méthodologie et les critères pour la délimitation des zones humides sur le terrain. Une zone est 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 »

Sa végétation, 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 ;
- ✓ soit par des espèces indicatrices de zones humides, selon la méthode et la liste d'espèces figurant à l'annexe 2.1, complétée en tant que de besoin par une liste additionnelle d'espèces arrêtée par le préfet.

Suite à l'adoption par l'assemblée nationale et le sénat, et promulgation par le président de la république de la loi portant création de l'OFB du 24 juillet 2019 (60), la rédaction de l'article L. 211 1 du code de l'environnement (caractérisation des zones humides) a été modifiée, afin de **restaurer le caractère alternatif des critères pédologique et floristique.**

La définition légale des zones humides est donc fondée sur deux critères 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 couvrir relativement rapidement de grandes surfaces, tout en faisant une différenciation des habitats dits « humides » (H) des habitats « potentiellement ou partiellement humides » (p). Ce dernier type fait ensuite l'objet d'un examen pédologique.

Suivant la circulaire du 18 janvier 2010 (61) et en application des Articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement et l'arrêté du 24 juin 2008 modifié (59): « 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.

À 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.

6.1.5.2 Critère « sols »

L'arrêté du 24 juin 2008 (59) modifié (annexe 1) 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. Les sondages pédologiques ont été réalisés à l'aide d'une tarière manuelle.

Les relevés ont été effectués à minima jusqu'à 60 cm lorsque aucune trace de trait rédoxique n'était visible et au-delà de 60 cm pour les autres cas. 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.

Selon l'arrêté 24 juin 2008 modifié (59), les sols des zones humides se répartissent en 3 grandes catégories (cf. annexe 1) :

- les histosols. Ils sont gorgés d'eau en permanence ce qui provoque l'accumulation de matière organiques peu ou pas décomposées. Ces sols correspondent aux classes d'hydromorphie H du GEPPA[8] ;
- les réductisols. Ils sont gorgés d'eau de façon permanente mais à faible profondeur (traites réductiques débutant à moins de 50 centimètres de profondeur dans le sol. Ces sols correspondent aux classes VI (c et d) du GEPPA ;
- les autres sols. Ils sont caractérisés par :
  - ✓ des traits rédoxiques débutant à moins de 25 centimètres du sol et se prolongeant en profondeur. Ces sols correspondent aux classes V (a, b, c et d) du GEPPA ;
  - ✓ des traits rédoxiques débutant à moins de 50 centimètres s'intensifiant plus en profondeur et des traits réductiques entre 80 et 120 centimètres. Ces sols correspondent à la classe IVd du GEPPA.

6.1.5.3 Prospections de terrain

Plusieurs campagnes d'identification des zones humides locales ont été réalisées, de 2015 à 2019 en fonction des zones du projet global. Les dates sont précisées dans le tableau en annexe 7.

Sur la base des relevés des habitats humides, complétés si besoin par des sondages pédologiques, les zones humides locales présentes dans l'aire d'étude immédiate ont été identifiées.

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 ;
- à une échelle plus locale, suite aux observations de terrain des espèces et des habitats favorables à leurs déplacements.

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.

6.1.6.1 Modélisation des continuités écologiques

À proximité de l'aire d'étude immédiate du projet global Cigéo, une modélisation des continuités écologique 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 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 est définie selon le territoire et à dire d'expert une espèce représentative (espèce cible) 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 6-3.

Tableau 6-3 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.

[8] GEPPA : Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée

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 Appréciation des enjeux écologiques

6.1.7.1 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 a été réalisée à deux échelles (cf. Figure 6-4) :

- une échelle régionale se basant sur les statuts réglementaires et les statuts de conservation ;
- une échelle locale correspondant à l'aire d'étude immédiate.

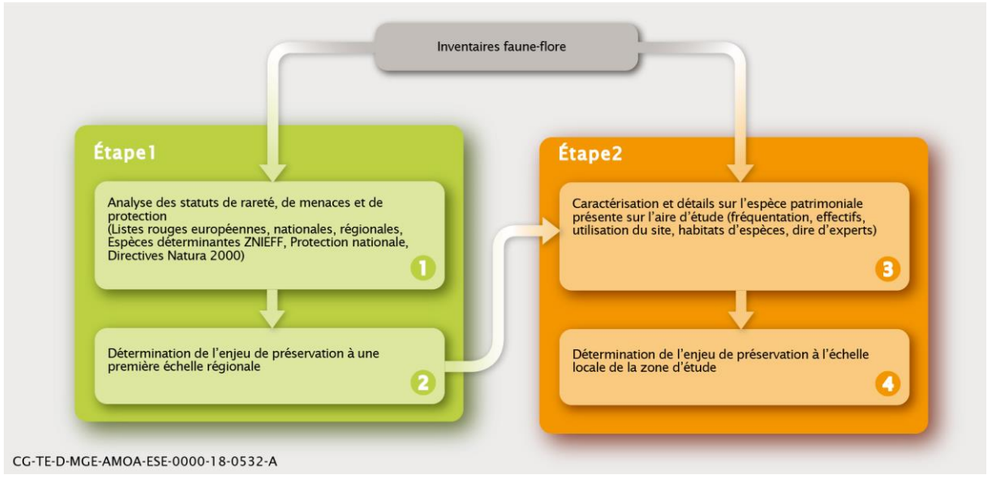


Figure 6-4 Schéma de la démarche d'appréciation des enjeux écologiques

6.1.7.2 Évaluation des enjeux à l'échelle régionale

L'évaluation des enjeux à l'échelle régionale est effectuée sur 5 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 (http://www.vigienature.fr/). 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.

Tableau 6-4 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. (coord), 2001(62), 2002 (63-65), 2004 (66, 67), 2005 (68))	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).(69)	Liste rouge régionale de la flore vasculaire de Lorraine (Pole Lorrain du futur Conservatoire Botanique National du Nord-Est, 2015 (56))
European Red List of Vascular Plants (Bilz, Kell, Maxted & Lansdown, 2011 (70))	Liste rouge des orchidées de France métropolitaine (UICN France, MNHN FCBN & SFO, 2009 (71))	Liste rouge de Champagne-Ardenne, Flore vasculaire 2018 (72)
		Atlas de Floraine (73)
Insectes		
European Red List of dragonflies (Kalkman et al., 2010 (74))	Liste rouge des Papillons de jour de France métropolitaine (UICN France, MNHN, OPIE & SEF, 2012 (75))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Insectes (Coppa *et al.*, 2007 (76))
European Red List of saproxilics beetles (Nieto & Alexander., 2010 (77))	Liste rouge des Libellules de France métropolitaine (UICN France, MNHN, OPIE & SFO, 2016 (78))	Guide méthodologique pour la modernisation de l'inventaire ZNIEFF en Lorraine (Gaillard & Jager, 2012 (79, 80))
European Red List of Grasshoppers, Crickets and Bush-crickets (Hochkirch *et al.*, 2016 (81))	Les orthoptères menacés de France. Liste rouge nationale et liste rouge par domaine biogéographique (Sardet et Defaut, 2004 (82))	
« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (Bensettiti & Gaudillat (coord.), 2002 (65))		
Reptiles - amphibiens		
European Red List of Reptiles (Cox & Temple, 2009 (83))	Liste rouge Reptiles et Amphibiens de France métropolitaine (UICN France, MNHN & SHF, 2015 (84))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Amphibiens (Cart, 2007 (80))

Niveau européen	Niveau national	Niveau régional
European Red List of Amphibiens (Temple & Cox, 2009 (85))		Liste rouge Champagne-Ardenne – Reptiles (Grange & Mionnet, 2007 (86))
« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (Bensettiti & Gaudillat (coord.), 2002 (65))		Liste rouge des amphibiens et reptiles de Lorraine (Aumaître & Lambrey, 2016 (87))
Oiseaux		
European Red List of Birds (Birdlife International, 2015(88))	Liste rouge des Oiseaux de France métropolitaine (UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016 (89))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Oiseaux nicheurs (Fauvel *et al.*, 2007 (90))
		Guide méthodologique pour la modernisation de l'inventaire ZNIEFF en Lorraine (Gaillard & Jager, 2012 (79))
Mammifères		
« Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (Bensettiti & Gaudillat (coord.), 2002 (65))	Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine. UICN France, MNHN, SFEPM & ONCFS (2017 (91))	Liste rouge Champagne-Ardenne – Mammifères (Bécu *et al.*, 2007 (92))
		Guide méthodologique pour la modernisation de l'inventaire ZNIEFF en Lorraine (Gaillard & Jager, 2012 (79))

La grille d'analyse des enjeux à l'échelle régionale est présentée dans le tableau 6-5.

Tableau 6-5 Grille d'analyse pour l'appréciation des enjeux de préservation des espèces

Enjeu	Principales caractéristiques
Très fort **De portée nationale à supranationale voire mondiale**	**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 et à l'annexe I de la Directive Oiseaux ; espèce emblématique ou pouvant faire l'objet d'un plan national d'action.
	Habitats/flore : habitat (semi-)naturel très rare et menacé en France et dans la région administrative du site d'étude ; habitat d'intérêt communautaire prioritaire au titre de la directive Habitat en bon état de conservation ; 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, 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 (semi-)naturel rare et menacé dans la région administrative du site d'étude en bon état de conservation ; habitat naturel d'intérêt communautaire prioritaire en état de conservation moyen ou habitat d'intérêt communautaire en bon état de conservation ; présence d'au moins une espèce menacée de flore (= liste rouge UICN régionale ou nationale : NT, VU (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, 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 (semi-)naturel fréquent mais menacé OU habitat rare mais non menacé dans la région administrative car en bon état de conservation ; habitat naturel d'intérêt communautaire en mauvais état de conservation ; présence d'au moins une espèce rare mais non menacée de flore (= liste rouge UICN régionale ou nationale : LC, R) ou présence d'une espèce déterminante de ZNIEFF.

Enjeu	Principales caractéristiques
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)
	Habitats et flore : habitat (semi-) naturel rudéralisé dont la flore est rendue banale et commune OU habitat fréquent et non menacé en France et dans la région administrative du fuseau d'étude. présence d'espèces de flore communes à assez rares mais non menacées.
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.*

6.1.7.3 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, arbres gîtes (cf. Chapitre 6.1.8 du présent document) ;
- 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.

6.1.8 Appréciation des niveaux d'intérêt des habitats d'espèces

Le tableau 6-6 présente une grille permettant d'apprécier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces par groupe.

Cette grille 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 ;
- la diversité et la densité d'espèces observées ;

Les critères détaillés appliqués pour définir les niveaux d'intérêt par grand type de milieu (boisé, prairial, cultivé) et par groupe d'espèces sont présentés à l'annexe 8.

Tableau 6-6 Grille d'appréciation du niveau d'intérêt des habitats d'espèces par groupe

Groupe	Niveaux d'intérêt	Description du niveau de fonctionnalité
Insectes	**I0 : très faible**	État de conservation dégradé et/ou, pas d'intérêt spécifique du milieu pour l'espèce/le groupe considéré. Habitat étant utilisé uniquement de façon anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique pour l'espèce/le groupe considéré Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces
	I1 : faible	État de conservation altéré et/ou, Habitat dont l'utilisation est limitée au déplacement et/ou Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique.
	I2 : moyen	État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour ; et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale, et/ou Seulement cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale
	I3 : fort	État de conservation bon et/ou habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie pour l'espèce/le groupe 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)
	I4 : très fort	État de conservation optimal et/ou, habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et/ou Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.
Amphibiens/Reptiles	**I0 : très faible**	État de conservation dégradé, et/ou habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce, et/ou Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces
	I1 : faible	État de conservation altéré, et/ou Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale, et/ou Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique.
	I2 : moyen	État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage (non diffus), et/ou

Groupe	Niveaux d'intérêt	Description du niveau de fonctionnalité
Oiseaux		Seulement cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale.
	I3 : fort	État de conservation bon, et/ou Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation (notamment, secteurs tampon de 250 m autour des zones de reproduction, zone tampon de 30 m autour des lisières accueillant du Lézard vivipare), et/ou Cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniales.
	I4 : très fort	État de conservation optimal, et/ou Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et/ou Multitudes de zones de reproduction dans un petit secteur (chapelet de mares). Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.
	I0 : très faible	État de conservation dégradé, et/ou Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce. Il peut s'agir d'une seule donnée d'une espèce en migration, et/ou Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces
	I1 : faible	État de conservation altéré, et/ou Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir d'habitats accueillant des espèces communes en migration/hivernage, et/ou Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique.
	I2 : moyen	État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale, et/ou Seulement cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale. Concernant le cortège des milieux ouverts, milieux préférentiels d'alimentation situés au sein du domaine vital défini par un tampon de 200 m autour des habitats de repos ou de reproduction avérés.
	I3 : fort	État de conservation bon, et/ou 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 Cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniales.
	I4 : très fort	État de conservation optimal, et/ou Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et/ou Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.
Mammifères	I0 : très faible	État de conservation dégradé, et/ou Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce, et/ou
		Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces
	I1 : faible	État de conservation altéré, et/ou Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale, et/ou Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique.
	I2 : moyen	État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale, et/ou Seulement cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale.
	I3 : fort	État de conservation bon, et/ou Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation (ex : 70 m pour le Muscardin, autour de son nid), 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.
	I4 : très fort	État de conservation optimal, et/ou Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et/ou Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.
Chiroptères	I0 : très faible	État de conservation dégradé, et/ou Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce. Il peut s'agir d'une seule donnée d'une espèce en migration, et/ou Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces.
	I1 : faible	État de conservation altéré, et/ou Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir d'habitats accueillant des espèces communes en migration/hivernage, et/ou Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique.
	I2 : moyen	État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage, et/ou Seulement cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale.
	I3 : fort	État de conservation bon et/ou, 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 gîtes, et/ou Cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniales. Niveau d'activité pressentie important.

Groupe	Niveaux d'intérêt	Description du niveau de fonctionnalité
	I4 : très fort	État de conservation optimal et/ou Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit) ; très forte disponibilité en gîtes (que ce soit en densité ou diversité), et/ou Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.

Sur la base de la cartographie des habitats, de leur état de conservation et de l'utilisation des habitats par les différentes espèces (fonctionnalités), la grille ci-dessus permet de définir le niveau d'intérêt des habitats pour chaque groupe d'espèce, puis à un niveau global tous groupes confondus (en conservant l'intérêt maximum pour chaque zone).

6.1.9 Synthèse de la démarche d'analyse de l'état actuel du milieu naturel

La démarche globale d'analyse des enjeux est présentée sur le schéma ci-dessous (cf. Figure 6-5)

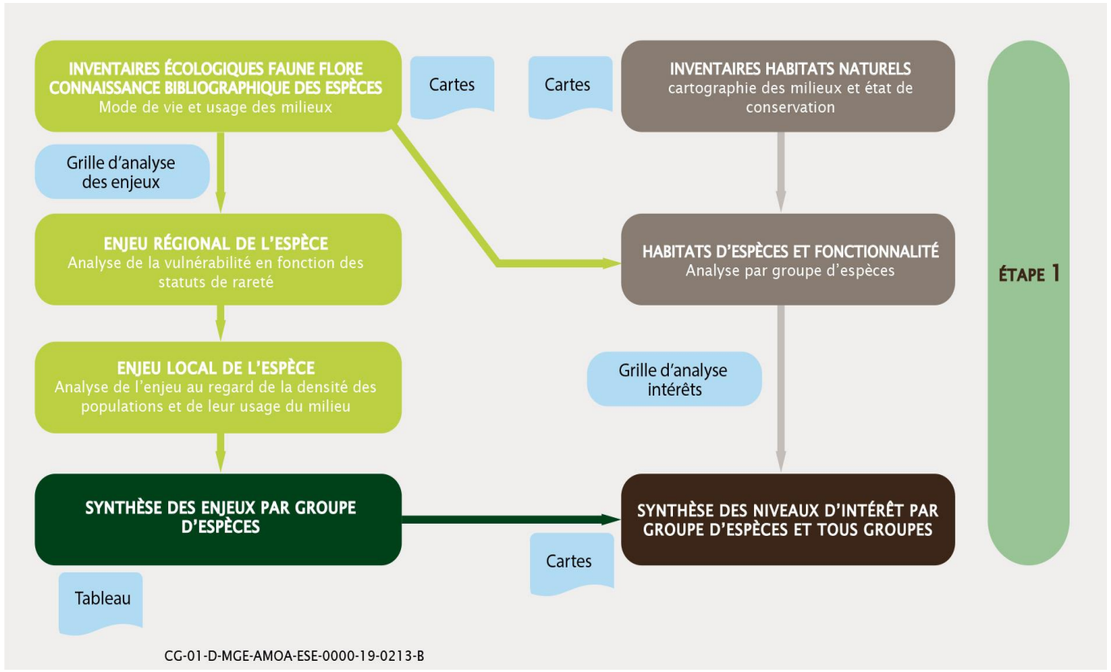


Figure 6-5 Schéma de la démarche d'analyse des enjeux écologiques

Cette démarche correspond à l'étape 1 de la méthode de calcul de la dette compensatoire écologique décrite au chapitre 0 du présent volume.

6.2 Incidences sur le milieu naturel

L'évaluation des incidences sur le milieu naturel est réalisée sur la base de l'état actuel du milieu naturel et des caractéristiques du projet.

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 conséquences sur la biodiversité) ou positives (impacts bénéfiques sur le milieu naturel).

Les cinq grandes catégories d'effets potentiels identifiés sont les suivants :

- **la destruction/dégradation des habitats d'espèce**

  La destruction ou la dégradation d'un habitat d'espèce 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 :

  - ✓ prises en compte dans le calcul des surfaces à risque pour la destruction d'individus les surfaces d'habitats naturels 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).

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…

- **la dégradation des fonctionnalités écologiques**

  Les emprises des constructions et les clôtures mises en place peuvent entrainer la rupture des corridors écologiques préexistants, la fragmentation des habitats ou la modification des fonctionnalités de la zone.

- **l'altération biochimique 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).

On distingue les incidences en phase travaux et en phase de fonctionnement.

Tableau 6-7 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 les emprises des zones d'implantation qui vont entrainer 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 l'emprise du projet
Destruction des individus Cet effet résulte du défrichement et des terrassements sur les emprises du projet qui entrainent 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 l'emprise 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 biochimique 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 l'emprise 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.
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'incidence dépend du niveau d'enjeu (identifié dans l'état actuel), 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'espèce, 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 sont évaluées suivant six niveaux (cf. Tableau 6-8) :

Tableau 6-8 Niveau d'incidence 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

Dans un premier temps, l'analyse des incidences potentielles vise à obtenir une qualification et une localisation des impacts potentiels, sur les habitats et espèces à enjeux. Cette approche ne cherche pas à quantifier des impacts potentiels mais vise à orienter et justifier le choix des mesures d'évitement et de réduction d'impact vis-à-vis de la préservation de la biodiversité.

La caractérisation des incidences résiduelles constitue la dernière étape de la démarche d'évaluation, intégrant les mesures d'évitement et de réduction d'impact sur les milieux naturels et espèces (effectifs affectés, proportion de population concernée, surfaces, altération de la fonctionnalité, etc.).

Conformément aux principes de la démarche ERC (« Éviter/Réduire/Compenser »), l'évitement des incidences (mesures d'évitement) est d'abord recherché dans un premier temps. Dans un second temps, la réduction maximale des impacts non évités (mesures de réduction) est recherchée afin de tendre vers une absence d'impact résiduel notable.

Les incidences résiduelles sont évaluées en tenant compte de la performance des mesures d'évitement et de réduction mises en œuvre. Si des incidences résiduelles notables sur un ou plusieurs éléments biologiques demeurent, des mesures de compensation sont alors mises en œuvre, selon la méthode exposée au chapitre 6.3.3 du présent volume.

6.3 Compensation écologique

6.3.1 Les grands principes de la compensation écologique

Les principes de la compensation écologique s'appuient sur « Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels » – MEDDE – 2013 (93) :

- les grands principes concernant la compensation écologique sont : les mesures compensatoires doivent comprendre des actions de terrain, telles que des actions de remise en état ou d'amélioration des habitats des espèces visées dans l'objectif du maintien du bon état de conservation de ces espèces ;
- la compensation environnementale doit répondre à plusieurs critères ;
  - ✓ équivalence écologique : logique d'équivalence écologique entre les pertes résiduelles et les gains générés par les actions de compensation : elles visent le rétablissement de la situation biologique observée avant l'impact sur les habitats, espèces et fonctions ;

    L'équivalence écologique est obtenue lorsque les « gains » (G), générés par la compensation sont égaux ou supérieurs aux « pertes » (P) consécutives aux impacts propres.
  - ✓ additionnalité : les mesures doivent générer une plus-value écologique qui n'aurait pas été obtenue en leur absence, l'amélioration écologique est à démontrer ;
  - ✓ localisation : priorité à la proximité fonctionnelle des compensations ;
  - ✓ 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 ;
  - ✓ durée : la pérennité peut être assurée par l'acquisition de terrain ou des démarches contractuelles de long terme avec les propriétaires ;
  - ✓ faisabilité technique, administrative et juridique : celle-ci doit être démontrée ;
  - ✓ financement assuré pour la mise en œuvre et le suivi sur toute la durée retenue ;
  - ✓ 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 ;
- 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 impacts résiduels de milieux de niveaux « très fort », « fort » et « modéré » sont considérés par l'Andra 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 impacts 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 impacts résiduels faibles du projet se retrouvent aussi compensés par conséquence de l'effet parapluie des mesures mises en place pour les impacts modérés, forts et très forts. En effet, la fonctionnalité recherchée sur les espèces à enjeu modéré, 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

La mise en œuvre de la compensation doit se faire en priorité à proximité des zones impactées, dans le même contexte géologique et climatique, à distance fonctionnelle pour la plupart des espèces protégées impactées et sans grandes infrastructures de communication constituant une barrière aux déplacements

Cette proximité s'entend en prenant en compte la répartition des espèces protégées ciblées dans l'ensemble du territoire dans lequel s'inscrit le centre ou le projet et peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres selon les espèces en fonction de l'espèce considérée et devra être cohérente à plusieurs échelles géographiques (afin de ne pas compromettre son état de conservation à l'échelle locale, régionale, nationale, européenne).

L'Andra privilégie ses territoires d'implantation à l'échelle départementale pour le choix de ses sites de compensation.

Au sein du Barrois, l'Andra privilégie, pour le choix de ses sites de compensation, des sites présentant des potentialités de restauration et d'amélioration localisés à moins de 25 km des sites impactés, en évitant la présence de grandes infrastructures routières ou ferroviaires, pouvant freiner le déplacement de la faune. Dans le cas où un site offrant de grandes potentialités de restauration se situerait au-delà d'un rayon de 50 km, un coefficient d'éloignement de 0,5 sera appliqué lors du calcul du gain.

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.

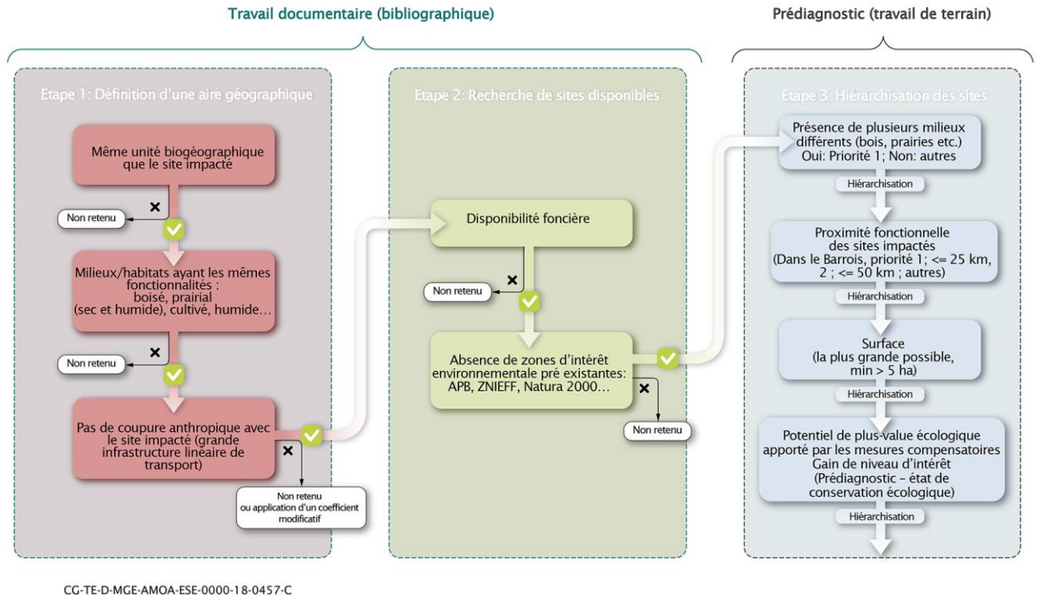


Figure 6-6 Étapes pour le choix des sites de compensation écologique

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 de 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 du Ministère (93) 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.

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 actuel 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 dite « Miroir »

La méthode de compensation écologique dite « miroir » consiste à quantifier et qualifier selon la même méthode la perte ou dette écologique liée aux impacts du projet, puis à rechercher à reconstituer, par des mesures compensatoires, un gain écologiquement équivalent.

Le schéma de principe de la compensation est présenté en figure 6-7.

Le besoin compensatoire est défini en unités de compensation (UC) ce qui permet de vérifier le bon dimensionnement des actions de compensation au regard de celui des impacts.

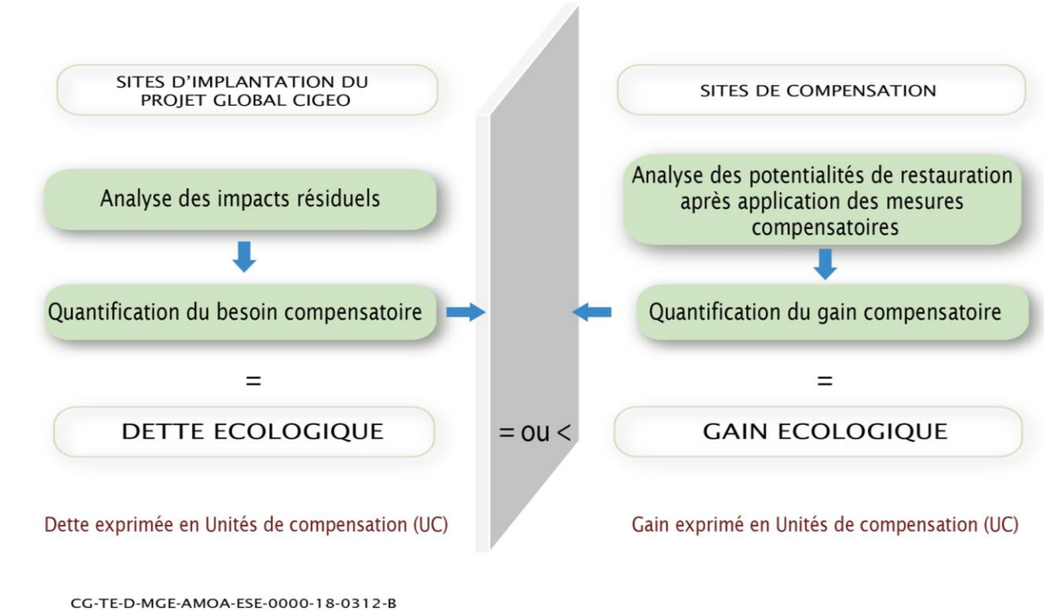


Figure 6-7 Schéma de la méthode miroir (adapté de Biotope)

6.3.4 Calcul de la dette écologique du projet global Cigéo

Cinq étapes sont nécessaires pour quantifier la dette compensatoire, schématisées sur la figure 6-8.

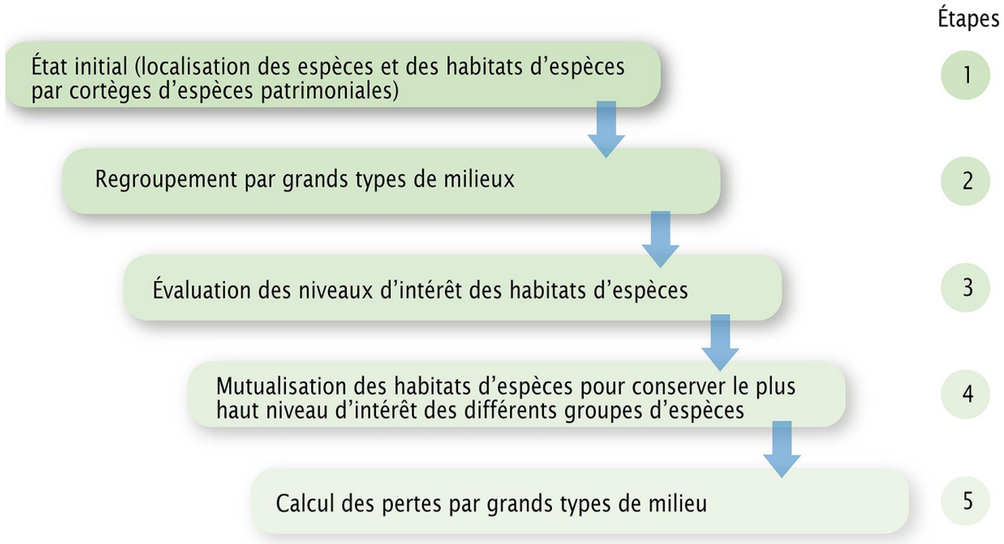


Figure 6-8 Étapes de calcul de la dette compensatoire écologique

1. La première étape consiste à réaliser une cartographie des différents habitats présents sur les sites de compensation choisis, au sens de la directive Corine Biotope, ainsi que des inventaires faunes/flores.
2. La deuxième étape consiste à regrouper les habitats par grand types de milieux (cf. Tableau 6-9).
3. La troisième étape permet de définir, pour chaque milieu, le niveau d'intérêt des différentes zones d'habitats recensées après les avoir analysés au regard de la fonctionnalité des habitats (ex : lieu de chasse ou collecte de nourriture, de reproduction, de déplacement), de la présence ou l'absence d'espèces patrimoniales ou protégées et de son état de conservation. On obtient ainsi, pour chaque groupe taxonomique (insectes, oiseaux, chiroptères etc.), un niveau d'intérêt.
4. La quatrième étape retient le niveau d'intérêt le plus fort en superposant les zones d'habitat de tous les groupes d'espèces : il s'agit d'une phase de mutualisation et de définition des niveaux d'intérêt maximal pour une zone donnée.
5. La dernière étape consiste, pour les zones impactées par le projet, à calculer la perte ou la dette écologique par application d'un coefficient multiplicateur lié au niveau d'intérêt sur chaque zone d'habitat concernée, puis à les sommer : la dette est exprimée en UC (unités de compensation).

- **Étape 1** : établissement des cartes d'habitat d'espèce

  Pour l'établissement des cartes des habitats d'espèce, une cartographie des habitats naturels a été établie en 2017 par Floragis, selon la nomenclature Corine Biotope. Les bureaux d'études ayant travaillé sur chaque groupe d'espèce ont présenté des cartographies d'habitats d'espèces, complétées et compilées par Biotope.

- **Étape 2 :** regroupement des habitats par grand types de milieux

  Pour l'analyse, les 109 habitats recensés sur la zone d'étude, ont été regroupés en 12 catégories d'occupation du sol et correspondant à 5 milieux écologiques fonctionnels présentées dans le tableau 6-9.

Tableau 6-9 Catégories d'habitats considérés pour calculer la dette compensatoire

Catégories d'habitats	
Milieux cultivés	Cultures
Milieux anthropiques	Bâtiments, routes, habitations…
Milieux forestiers	Boisement des feuillus + adultes
	Plantations = taillis- régénération stade jeune feuillus
	Conifères – plantation
	Habitat arbustif en milieu ouvert/semi ouvert ou en recolonisation (hors boisement)
Milieux humides	Ripisylves
	Prairie humide, mégaphorbiaies, roselières
	Cours d'eau incluant végétation aquatique
	Eau stagnantes (mares)
Milieux prairiaux	Pelouses, milieux thermophiles
	Milieux non humides (prairies fauches, pâtures)

- **Étape 3** : niveaux d'intérêt et coefficients associés

  Un niveau d'intérêt pour chaque polygone d'habitats naturels est défini en fonction du groupe d'espèces impactées considéré selon une échelle allant de très faible à très fort (cf. Tableau 6-10).

  Le niveau d'intérêt augmente lorsqu'un habitat :

  - ✓ accueille une ou plusieurs espèces patrimoniales et ou protégées ;
  - ✓ présente un intérêt en termes de fonctionnalité pour une ou plusieurs espèces patrimoniales et ou protégées et est en bon état de conservation ;
  - ✓ permet à une ou plusieurs espèces patrimoniales et ou protégées d'effectuer son cycle biologique.

  Il est à noter que le niveau très fort (I4) n'est pas rencontré sur le secteur.

Tableau 6-10 Principe des niveaux d'intérêt

Niveau d'intérêt	Critères[9]
Très fort I4	État de conservation optimal et/ou Habitat préférentiel essentiel 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 dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées
Fort I3	État de conservation moyen et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale, Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage, et/ou Seulement cortège typique d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale
Moyen I2	État de conservation moyen et/ou Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage, et/ou Seulement cortège typique d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale
Faible I1	État de conservation altéré, et/ou Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir d'habitats accueillant des espèces communes en migration/hivernage, et/ou Majorité d'espèce commune non menacée avec une forte plasticité écologique
Très faible I0	État de conservation dégradé, et/ou Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce. Il peut s'agir d'une seule donnée d'une espèce en migration, et/ou Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèce

Les critères détaillés appliqués pour définir les niveaux d'intérêt par grand type de milieu (boisé, prairial, cultivé) et par groupe d'espèces sont présentés à l'annexe 8.

Les grilles d'interprétation représentent une aide à la qualification de l'intérêt de chaque type d'habitat d'espèce. Les bureaux d'études spécialisés faune-flore ont identifié les habitats d'espèces et leur intérêt en se basant en partie sur la cartographie des habitats naturels et en qualifiant l'intérêt que celui-ci pouvait avoir pour un groupe ou une espèce patrimoniale. Il s'agit donc d'une classification effectuée par les experts, basée sur les observations de terrain (inventaires faune/flore) complétée de leur expérience et affinée avec des données issues de la bibliographie concernant le domaine vital d'une espèce par exemple.

Cette grille s'est basée sur plusieurs critères qui ont permis de déterminer la qualité de l'habitat vis-à-vis d'un groupe d'un groupe taxonomique ; son état de conservation, sa capacité à assurer les fonctions suffisantes à une espèce pour lui permettre d'accomplir son cycle de vie, sa fonctionnalité (reproduction, déplacement, hivernage, migration, alimentation), et la diversité et la densité d'espèces observées. La présence ou l'absence d'espèces patrimoniales définies localement est également pris en compte.

À chaque niveau d'intérêt est associé un coefficient, utilisé dans l'étape 5 de la méthode, afin de calculer la dette écologique. Ils sont présentés dans le tableau 6-11.

[9] Les critères sont non cumulatifs pour définir un niveau d'intérêt

Tableau 6-11 Coefficients appliqués aux zones selon leur niveau d'intérêt

	Niveau d'intérêt	Coefficient NI
I4	Très fort	3
I3	Fort	2
I2	Moyen	1
I1	Faible	0,5
I0	Très faible	0

- **Étape 4** : mutualisation des niveaux d'intérêt

Une analyse de l'ensemble des niveaux d'intérêt est effectuée par zone d'habitat. Pour chaque habitat d'espèce, quelle que soit la fonctionnalité ou l'espèce considérée, le niveau d'intérêt le plus fort est systématiquement retenu couvrant ainsi les autres niveaux d'intérêt de moindre importance (système de compilation en cascade ou en effet parapluie : un intérêt très fort couvre les intérêts forts et moyens, l'intérêt moyen couvre les intérêts faibles).

Cette mutualisation est fondée sur le principe que plusieurs espèces sont inféodées au même type d'habitat et qu'une mesure donnée portant sur cet habitat peut parfois servir plusieurs intérêts convergents pour un même projet.

Il s'agit donc :

- ✓ d'agréger les cartes d'intérêt des habitats d'espèces pour chaque groupe d'espèce (insectes, amphibiens, reptiles, oiseaux, chiroptères…) ;
- ✓ de découper par unité géographie élémentaire les zones d'habitats d'espèce lors de l'agrégation avec affectation du coefficient d'intérêt le plus élevé.

Sur chaque zone ainsi créée par superposition des zones d'habitats d'espèce est associé un niveau d'intérêt maximum. Ce principe est présenté sur la figure 6-9.

Des coefficients sont ensuite définis en fonction du niveau d'intérêt retenu pour chaque zone et sont appliqués aux surfaces correspondantes. Ils sont présentés dans le tableau 6-11. Ces niveaux d'intérêt et la valeur des coefficients associés proposés sont les mêmes que pour calculer le gain par la suite.

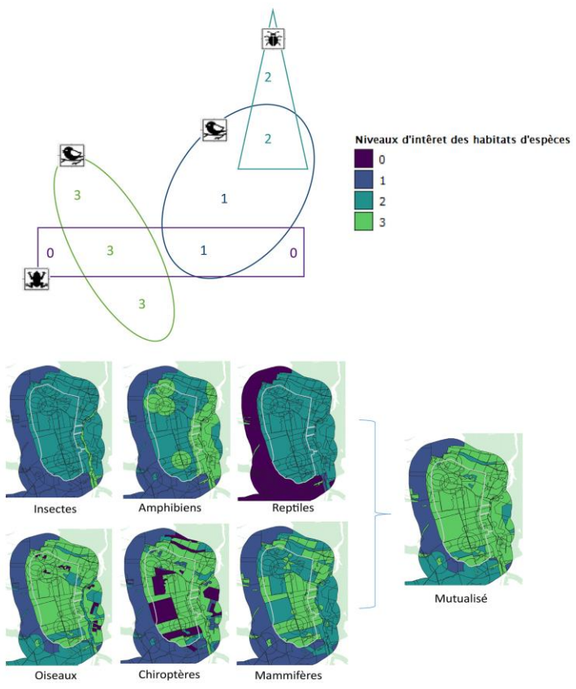


Figure 6-9 Principe de la mutualisation en application sur la zone puits (d'après Biotope)

- **Étape 5** : calcul de la dette

Le calcul de la dette compensatoire se base sur les surfaces impactées : les surfaces considérées sont les surfaces d'emprise du projet et de niveau d'intérêt supérieur ou égal à I2. Il s'agit des surfaces d'impact résiduel » considérées comme impact notable au regard de la réglementation en vigueur et qui nécessite donc compensation, comme explicité dans le chapitre 4.3.2 du présent document.

Sur ces surfaces sont appliqués les coefficients en fonction de son niveau d'intérêt mutualisé maximum (noté « NI ») existant sur ces habitats.

Il s'agit d'une dette surfacique sur chaque zone d'habitat (noté « i »), exprimée en « Unités de Compensation » (UC). Ce nombre d'UC est exprimé par milieu écologiquement fonctionnel : milieu boisé, milieu prairial, et milieu cultivé.

Lorsque le projet et les aménagements associés entraînent la destruction d'un habitat, l'état final de cette surface d'habitat est considéré à un niveau d'intérêt final très faible et le coefficient associé est alors de zéro.

Cette dette peut aussi être ajustée en considérant que la durée de l'impact est temporaire ou permanente et en appliquant un coefficient de durée de l'impact (1 pour un impact permanent et 0,5 pour un impact temporaire tel qu'en phase chantier par exemple).

Dette (en UC) =

Somme [Surface habitat$_{(i)}$ x (Coefficient NI$_{initial\ (i)}$ - Coefficient NI$_{final\ (i)}$) x Coefficient de durée de l'impact]

6.3.5 Calcul gain compensatoire écologique du projet global Cigéo

Pour le calcul du gain compensatoire écologique d'un site de compensation, la méthode utilise les mêmes grilles de critères de définition de niveaux d'intérêts et les même coefficients associés. Ainsi, par une succession d'étape assez similaires aux étapes du calcul de la dette, est évalué le gain de niveau d'intérêt en réponse aux mesures compensatoires.

À l'échelle d'un projet, le gain global calculé sur le ou les sites de compensation proposés doit être *a minima* équivalent à la dette du site impacté (principe du « miroir »).

Comme pour le calcul de la dette, plusieurs étapes sont nécessaires au calcul du gain (cf. Figure 6-10).

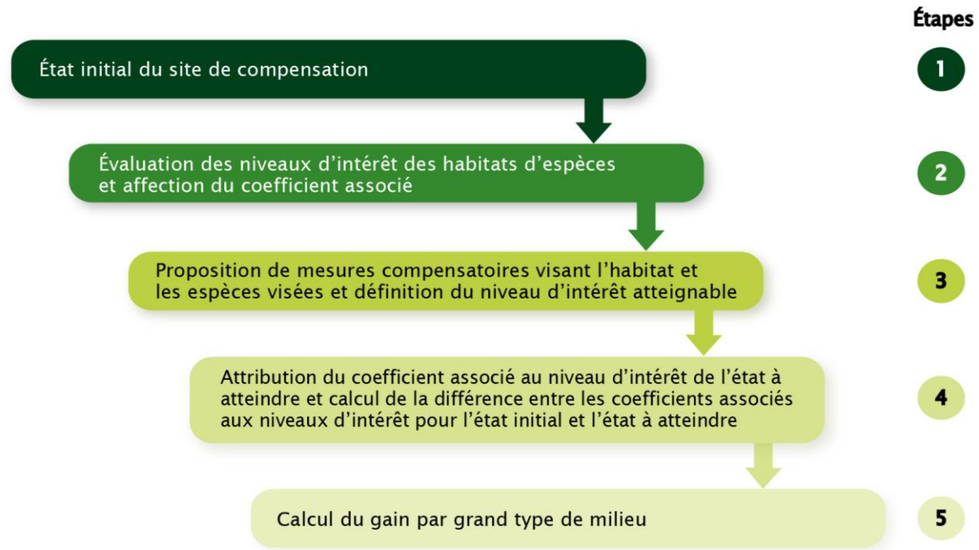


Figure 6-10 Étapes de calcul du gain compensatoire

Les étapes sont les suivantes :

1. La première étape consiste à réaliser un diagnostic des habitats présents, en s'appuyant sur la carte d'occupation des sols (cartes des peuplements pour les espaces boisés). Il s'agit de s'assurer que les habitats rencontrés sur les sites de compensation pourront offrir, après mise en œuvre des mesures, les mêmes fonctionnalités (nourrissage, reproduction, transit, hivernage…) pour les espèces impactées par le projet.
2. Un niveau d'intérêt est appliqué sur chaque zone comme pour le calcul de la dette, par zone d'habitat d'espèce et par milieu, avec le coefficient associé (cf. Tableau 6-11).
3. Des mesures compensatoires sont définies de façon à atteindre un objectif de niveau d'intérêt supérieur, selon les potentialités du site ; les risques associés à l'incertitude relative à l'efficacité des mesures sont minimisés par le choix de mesures ni risquées ni ambitieuses (objectif de passage d'un niveau d'intérêt à un autre plus élevé limité à deux niveaux) et par un suivi régulier permettant le réajustement des mesures en cas de besoin.
4. Les coefficients associés aux niveaux d'intérêt à atteindre sont appliqué (cf. Tableau 6-11).
5. Le calcul de gain environnemental est ensuite effectué selon la formule présentée ci-dessous.

Pour s'assurer du potentiel compensatoire des sites retenus, des inventaires faunistiques et floristiques peuvent également être réalisés, afin d'obtenir un état initial complet des milieux présents.

Un coefficient de 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 rappel, les mesures demandant du temps pour atteindre les objectifs écologiques recherchés (ex : forêt mature), il a été décidé d'appliquer un coefficient de temporalité 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'alimentation des oiseaux des milieux ouverts et semi-ouverts étant obtenue très rapidement par le changement de pratiques culturales.

Sur les sites éloignés de plus de 50 kilomètres, il est également rappelé qu'un coefficient d'éloignement de 0,5 est également appliqué.

Le gain peut alors être calculé en appliquant la formule suivante :

Gain (en UC) =

Somme [Surface habitat (j) x (Coefficient $NI_{atteint}$ j- Coefficient $NI_{initial}$ j) x Coefficient de temporalité x Coefficient d'éloignement]

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) : https://inpn.mnhn.fr/accueil/index

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 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). 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.

La méthode adoptée par l'Andra pour évaluer le risque radiologique sur l'environnement non humain, 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 (Beresford, 2007 (94), Beaugelin- Sellier, 2016 (95)). L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a participé à ce développement. La méthode et l'outil sont d'ores et déjà utilisés par EDF et Orano dans leurs études d'impact environnemental. Quelle que soit la localisation, les débits de dose absorbés par les 15 organismes représentatifs de l'environnement non humain, liés aux rejets radioactifs du projet global Cigéo, sont tous inférieurs à 0,001 µGy/h. Ces débits de dose absorbés sont très largement inférieurs à la valeur seuil sans effet attendu de 10 µGy/h. Le risque peut donc être considéré comme non préoccupant vis-à-vis l'environnement non humain.

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.

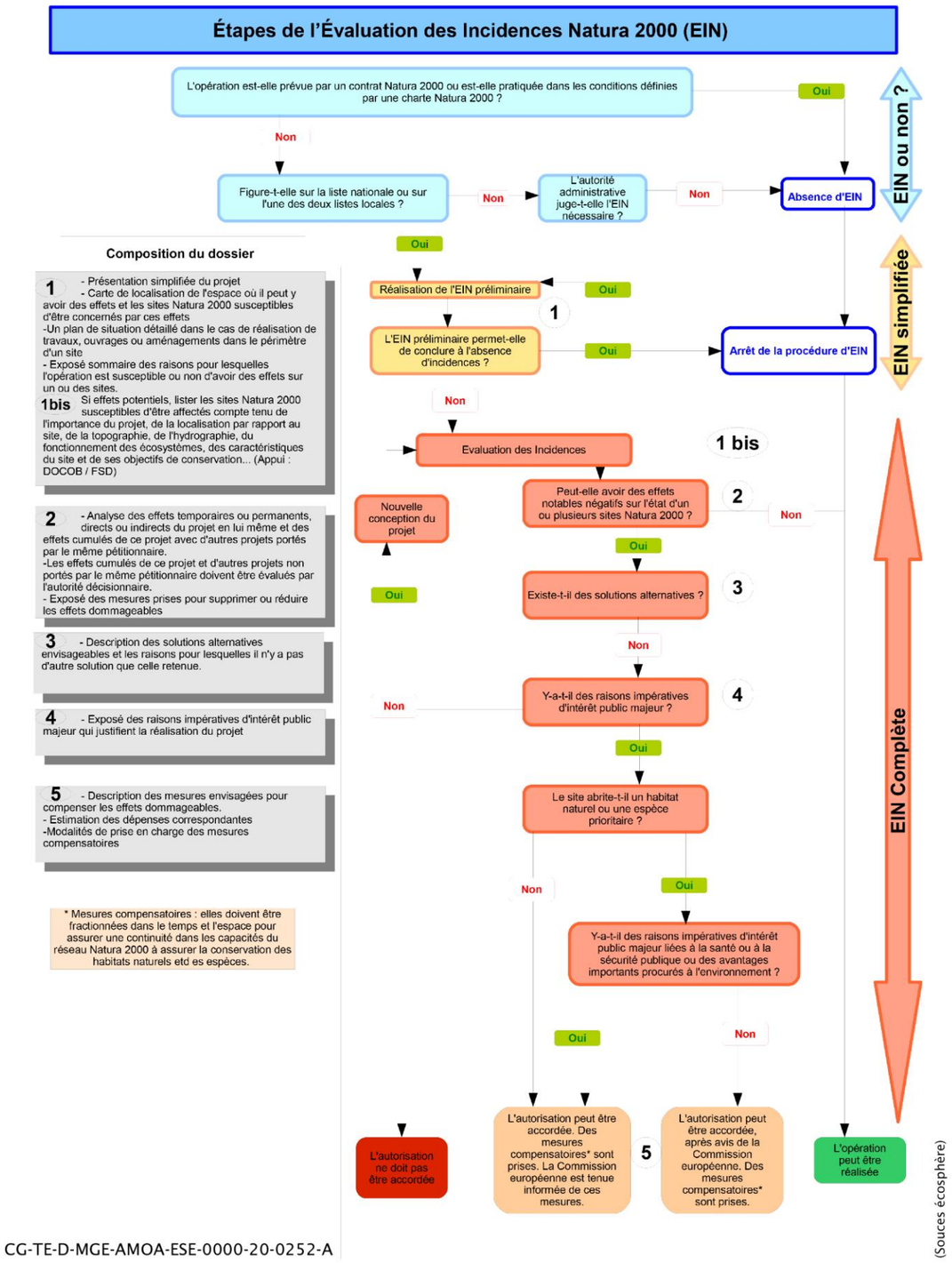


Figure 6-11 Étapes de l'évaluation des incidences Natura 2000

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 6-11 (source : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/monter-son-dossier-d-ein-a17261.html).

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 m 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 actuel 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…).

On évalue s'il existe des **liens fonctionnels** entre les espèces ou les habitats ayant justifié la désignation des sites Natura 2000 et le projet global, qui peuvent porter atteinte au maintien ou au rétablissement du bon état de conservation des habitats et des espèces qui ont justifiées leur classement.

Concernant le projet CIGÉO, et afin de s'assurer d'une prise en compte exhaustive des enjeux potentiels, nous nous sommes référés 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).

a) 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** . 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).
- les sites Natura 2000 localisés dans le même bassin topographique que le centre de stockage 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).

b) 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 m 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. 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 paragraphe 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 paragraphe 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 Natura2000, 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 nul.

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 de 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. Tableau 6-12 ci-dessous).

Tableau 6-12 *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**

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
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
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 m du pylône 115 de la ligne 400 kV	**Oui**	**Non**
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

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 doit être réalisée en application de l'article R. 414-23, III, du code de l'environnement (cf. Tableau 6-13).

Tableau 6-13 *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		

6.4.4 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 présent 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 sur le milieu naturel (cf. volume IV de l'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 du site, 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. pièce 6 – volume VII) 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 :

1. 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.
2. 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.
3. L'estimation des dépenses correspondantes (développée dans le volume IV de l'étude d'impact).

6.4.5 Effets cumulés du projet global Cigéo avec d'autres projets connus

La notion d'effets cumulés se réfère à la possibilité que les impacts temporaires ou permanents occasionnés par le projet global Cigéo s'ajoutent à ceux d'autres projets dans le même secteur ou à proximité de celui-ci, engendrant ainsi des effets de plus grande ampleur sur le site.

L'évaluation des effets cumulés porte sur un certain nombre de composantes environnementales correspondant aux préoccupations majeures identifiées dans le cadre de l'analyse environnementale.

Ce chapitre répond à l'objectif fixé à l'article R. 122-5, 4 du code de l'environnement, qui prévoit que l'étude d'impact analyse les effets cumulés potentiels du projet avec d'éventuels autres projets environnants. Ces derniers doivent avoir fait l'objet :

- d'un document d'incidences au titre de l'art R. 181-14 et d'une enquête publique ;
- d'une évaluation environnementale au titre du code de l'environnement et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

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, sont exclus.

6.5 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 actuel de l'environnement (Volume III) 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 (ONEMA, 2016 (96).

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 2 pour 1, le gain fonctionnel de la mesure de compensation sera au moins deux fois supérieur à la perte fonctionnelle engendrée par le projet.

6.6 Incidence 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 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 6.1.6.1 du présent document).

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.

7

Emploi, activités économiques, population et habitat - Méthodes

7.1 Emploi et activités économiques 116
7.2 Population 116
7.3 Habitat 116

Les données relatives à l'emploi, aux activités économiques, à la population et à l'habitat présentées dans l'état actuel 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.

7.1 Emploi et activités économiques

L'analyse des incidences directes est réalisée en prenant en compte les emplois mobilisés par le projet global Cigéo et les retombées fiscales.

Emploi 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 (97). 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 (98).

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 de Cigéo en phase esquisse : synthèse, réalisée au stade esquisse en 2014 (99, 100). 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 (101, 102) et les mesures du Projet de développement du territoire qui amplifieront les effets positifs du projet (97).

7.2 Population

La population associée aux effectifs mobilisés (population présente temporairement sur le territoire) et créées (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, PLUi de la Communauté de communes de la Haute-Saulx et PLUi 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 Habitat

Les données d'habitat de l'état actuel sont issues données de l'Insee, ainsi que d'une analyse de la carte topographique de l'institut géographique nationale et de visites de site.

L'évolution de l'habitat lié au projet global Cigéo, engendrée 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 actuel des activités agricoles et sylvicoles 118
8.2 Évaluation des incidences sur les activités agricoles et du besoin de compensation 118
8.3 Détermination de la compensation collective agricole 121
8.4 Évaluation des incidences sur les activités sylvicoles et du besoin de compensation 122
8.5 Détermination de la compensation forestière 122

8.1 État actuel des activités agricoles et sylvicoles

L'état actuel 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 (http://agreste.agriculture.gouv.fr) regroupant l'ensemble des informations disponibles sur l'occupation des sols et leur usage agricole, l'activité des exploitations...

L'état actuel 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.).

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.

Ainsi, les principaux documents illustrant l'état actuel sont :

- boschiero, B. Grand Est Chiffres clés. Chambre d'agriculture Grand Est (2017) (103) ;
- 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) (104) ;
- 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) (105) ;
- 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) (106) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton de Poissons. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation ; DRAAF Grand Est (2018) (107) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton Gondrecourt le Château. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation ; DRAAF Grand Est (2018) (108) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton Ligny-en-Barrois. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation ; DRAAF Grand Est (2018) (109) ;
- agreste Grand Est Fiche territoriale Canton de Montiers-sur-Saulx. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation ; DRAAF Grand Est (2018) (110) ;
- atlas régional Grand Est. Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt ; Agreste Grand Est (2017) (111) ;
- agreste Grand Est : Statistique agricole : Mémento de l'emploi - Edition 2018. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2019) (112) ;
- la forêt du Grand Est. DRAAF Grand Est ; Ministère de l'agriculture et de la pêche ; INSEE ; Fibois Grand Est ; IGN (2019) (113) ;
- Quelles disponibilités en bois en Grand Est État des lieux et projection aux horizons 2027 et 2037. IGN (2018) (114) ;
- 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) (115)
- Filière forêt-bois - département de la Meuse - Edition 2019. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation ; DRAAF (116) ;

L'état actuel 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 1 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 projet sur des terres agricoles ;
- sur une aire d'étude immédiate correspondant à la zone d'intervention potentielle du centre de stockage.

L'état actuel sur un couloir de 500 mètres de part et d'autre de la ligne 400 000 Volt.

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.

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.

Cette étude demandée dans le cadre de la loi (n° 2014-1170) d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt (117), illustre l'importance de la prise en compte du principe « éviter-réduire-compenser » dans le cas de la mise en œuvre de projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics ou privés ayant des incidences négatives sur l'économie agricole d'un territoire (article L. 112-1-3 du code rural et de la pêche maritime-.

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 DDT[10] 52 et 55 et les Chambres Départementales d'agriculture de Meuse et de Haute-Marne. Ce groupe s'est réuni à plusieurs reprises de mai 2017 à décembre 2019. Une expertise technique complémentaire menée par le centre de gestion agricole (CERFRANCE Adhéo[11]) permet de définir les données d'entrée à partir d'analyses comptables de groupe

[10] DDT : Directions départementales des territoires
[11] CERFRANCE Adhéo : Association de Gestion et de Comptabilité agréée

d'exploitations de références. L'INAO[12] a également été sollicité pour l'évaluation des enjeux des productions agricoles sous signe d'indentification de qualité et d'origine. (AOC[13]-AOP[14] et IGP[15] 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[16] et à la mission Cigéo 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 les 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 de :	Principaux éléments
Perte de surface pour les exploitation	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'échange
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)
Diminution de terres inclues dans des aires SIQO	Proportion de l'aire de l'appellation 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) de ce volume et du volume IV de la présente étude
Coupure d'itinéraires agricoles	Concertation locale
Diversification	Modification de l'environnement humain
Changement de mode d'exploitation des terres de mesures compensatoires écologique	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).
Image des productions	Très faibles niveaux des émissions

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 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 (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, 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.

[12] INAO : Institut national de l'origine et de la qualité
[13] 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
[14] 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
[15] 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.
[16] DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

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.

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 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 des 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 :

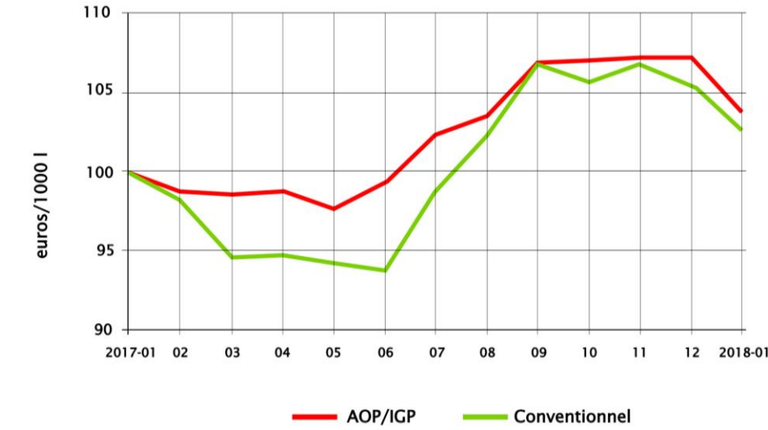
- le coût de mise en œuvre des mesures de compensation écologique ;
- la différence entre la valeur ajoutée à l'hectare avant et après mise en œuvre de de ces mesures de compensation écologique en particulier pour les surfaces actuellement exploitées.

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 les 4 ans. Pour la mesure de compensation MC-C3) qui intégré une jachère sur une période de 5 ans suivie d'une prairie temporaire sur 3 ans, le cycle de calcul a été établi sur une période de 8 ans.

Cette démarche permet d'établir un coût moyen à l'hectare changement des pratiques agricoles sur les surfaces dédiées à des mesures est évaluée.

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 production, 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).



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0541-A *Source: Agreste - Enquête mensuelle laitière SSP/FranceAgriMer*

Figure 8-1 Indice du prix du lait AOP/IGP et conventionnel

La production laitière moyenne par an par hectare de surface agricole utile d'un système d'exploitation de grandes culture et d'élevage, est établi à environ 2 000 litres.

Le prix de vente du lait AOP/IGP est de 5 % à 10 % supérieur à celui d'un lait 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 la mise en place des mesures de compensation et l'incidence de 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

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.

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, sera associé à la démarche de sélection des projets puis à leur suivi et à leur financement. Le financement provenant de la compensation sera 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 4 phases sont définies :

1. mobilisation des acteurs agricoles locaux pour identifier les projets à développer ;
2. installation d'un comité de pilotage (COPIL) et définition de ses missions ;
3. conduite des appels à projets ;
4. suivi des projets.

Une liste préliminaire des critères d'éligibilité des projets est présentée dans le tableau 8-3. L'objectif est 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 au fonction des retombées économiques attendues. Ces critères seront complétés par le comité de pilotage.

Tableau 8-3 Critères d'éligibilité des projets collectifs de compensation économique agricole (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 5 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'aide 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 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 fixés 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.

Critères	Définition et exigences
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[17] ou RSI[18].
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[19] ? évolution de la PAC ? Anticipation des adaptations agricoles ?

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 donc 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 de :	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 écologique	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 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 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 2.

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 Volume IV de la présente étude, paragraphe 8.2.5)

[17] 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

[18] RSI : Le retour sur investissement, c'est un indicateur de rentabilité du capital investi, taux de rendement, rendement, ou encore taux de profit

[19] 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 (118).

9

Réseaux - Méthodes

Les informations relatives aux réseaux de gaz et électriques à l'état actuel sont issues de RTE et de GRT gaz (119, 120).

Dans le cadre de l'analyse des incidences il a été vérifié si le projet global Cigéo intercepte des réseaux majeurs, par superposition des installations du projet global avec les réseaux existants. Il a également été précisé si la création et les modifications de réseau bénéficient au territoire après analyse des documents de planification mettant en évidence les lacunes des réseaux existants.

10

Déchets radioactifs – Méthodes

Les déchets radioactifs sont classés en fonction de leur niveau de radioactivité et sur la durée de la période radioactive (cf. Figure 10-1) :

- quatre niveaux de radioactivité des déchets radioactifs ont été définis : la très faible activité (TFA), la faible activité (FA), la moyenne activité (MA) et la haute activité (HA) ;
- trois durées de période radioactive ont été retenues : les déchets à vie très courte de période inférieure à 100 jours, les déchets à vie courte de période inférieure à 31 ans et les déchets à vie longue de période supérieure à 31 ans.

Figure 10-1 Filières de gestion développées pour les différentes catégories de déchets

Les quantités de déchets radioactifs produits par le centre de stockage Cigéo sont estimées à dire d'expert sur la base de retours d'expérience. Ces estimations sont préliminaires. Elles seront revues au fur à mesure de l'avancement du projet.

11

Déchets conventionnels, risques technologiques et sites pollués ou potentiellement pollués - Méthodes

11.1 Les déchets produits par le centre de stockage Cigéo 128
11.2 Risques technologiques 129
11.3 Sites pollués ou potentiellement pollués 129

11.1 Les déchets produits par le centre de stockage Cigéo

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. 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 11-1 et le tableau 11-2.

Tableau 11-1 Ratios utilisés pour les estimations des déchets des bâtiments industriels

Déchets ouvrages industriels	Ratio (t/an/salarié)	Source
Verre	0,03	Estimation à partir données ADEME 2004
Métaux	0,61	Estimation à partir données ADEME 2004
Plastiques	0,12	Estimation à partir données ADEME 2004
Caoutchouc	0,01	Estimation à partir données ADEME 2004
Textiles	0,03	Estimation à partir données ADEME 2004
Papier-cartons	0,61	Estimation à partir données ADEME 2004
Bois	1,02	Estimation à partir données ADEME 2004
Mélange	0,97	Estimation à partir données ADEME 2004
Inertes	0,5	Estimation à partir de données INSEE 2008/2009
Dangereux	0,3	Estimation à partir données ADEME 2004

Tableau 11-2 Ratios utilisés pour les estimations des déchets des ouvrages nucléaires

Déchets ouvrages nucléaires	Ratio (kg,m²)	Source
Papiers/cartons	0,07	Retour d'expérience
Plastiques	0,03	Retour d'expérience
Métaux	0,02	Retour d'expérience
Textiles/chiffons	0,02	Retour d'expérience
Filtres	0,05	Retour d'expérience
Déchets dangereux	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

Les ratios utilisés pour estimer la production de biodéchets sont présentés dans le tableau 11-3.

Tableau 11-3 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
Entretien des espaces verts	6	t/ha/an	Éléments de dimensionnement et conseil pratique – gestion des déchets verts (Cemagref, 1994) : 43 $m^3.ha^{-1}.an^{-1}$ – densité 1,4 $t.m^{-3}$

11.2 Risques technologiques

11.2.1 Risques industriels

Les risques industriels ont été étudiés au travers du recensement des Plans de prévention des risques technologiques (PPRt) et des sites SEVESO, dans l'aire d'étude rapprochée du projet global Cigéo. Le recensement des ICPE et INB a été effectué dans l'aire d'étude rapprochée afin de cibler les installations pouvant avoir une incidence sur les installations du projet global Cigéo.

Les données indiquées proviennent des sites http://installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr et · https://www.asn.fr/L-ASN/L-ASN-en-region/Grand-Est .

Transport de matières dangereuses

Le recensement des risques liés aux transports de matières dangereuses est réalisé à partir du site · https://www.gouvernement.fr/risques/transport-de-matieres-dangereuses.

11.2.2 Risque pyrotechnique

Le risque pyrotechnique a été évalué grâce à l'étude des archives disponibles sur les zones de conflits pendant la première et deuxième guerre mondiale et des dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse et de la Haute-Marne.

11.2.3 Risque de rupture de barrage

Le risque de rupture de barrage a été évalué à partir des données disponibles dans les dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse (2013) et de la Haute-Marne (2017).

11.3 Sites pollués ou potentiellement pollués

Le recensement des sites et sols pollués a été réalisé à partir de l'Inventaire historique des sites industriels et activités de service (Basias) via le site http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inventaire-historique-des-sites-industriels-et-activites-de-service-basias#/, de la base Géorisque via le site http://www.georisques.gouv.fr/ et de la base Basol du ministère de la Transition écologique et Solidaire, via le site https://basol.developpement-durable.gouv.fr/.

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 http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/sis-secteur-dinformation-sur-les-sols/donnees#/.

12

Infrastructures de transport - Méthodes

12.1 Infrastructures de transport 132
12.2 Méthodologie utilisée pour le rétablissement des voiries interceptées 132
12.3 Méthodologie d'évaluation des évolutions du trafic, des conditions de circulations et des méthodes de calcul 132
12.4 Méthodologie utilisée dans le calcul des consommations énergétiques 143
12.5 Méthodologie pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité 146

12.1 Infrastructures de transport

Le projet global Cigéo comprend la réalisation d'infrastructures de transport :

- des infrastructures de transport ferroviaires :
  - ✓ la ligne ferroviaire 027000, décrite au volume II, chapitre 2.7.3 ;
  - ✓ 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 volume II, chapitre 4.3.7 ;
- des infrastructures routières :
  - ✓ la liaison intersites, décrite au volume II, chapitre 4.3.6 ;
  - ✓ la déviation de la route départementale D60/960, décrite au volume II, chapitre 2.7.4 ;
- les 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 ».

12.1.1 Recensement des infrastructures et services de transport

Les données relatives aux différentes infrastructures (air, fer, route, etc.) ont été récupérées 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 2019, de la SNCF (121). La méthodologie concernant l'estimation du trafic actuel est présentée au paragraphe 12.1.1 du présent volume de l'étude d'impact.

Les données relatives au réseau fluvial sont issues du site de Voies Navigables de France (VNF) Nord-Est : https://www.vnf.fr/vnf/regions/vnf-nord-est/.

La liste des aéroports est issue de la BD Carto de l'IGN.

12.2 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, dont la conception n'est pas aussi avancée, les modalités précises de rétablissements seront étudiées lors de la poursuite des études et en concertation avec les acteurs locaux.

12.3 Méthodologie d'évaluation des évolutions du trafic, des conditions de circulations et des méthodes de calcul

12.3.1 Trafic ferroviaire

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

Une évaluation des incidences du centre de stockage Cigéo a été réalisée par modélisation par le Cerema (122). 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.

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.).

12.3.2.1 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 projet global Cigéo depuis les axes structurants du territoire (RN4. RN67, 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.

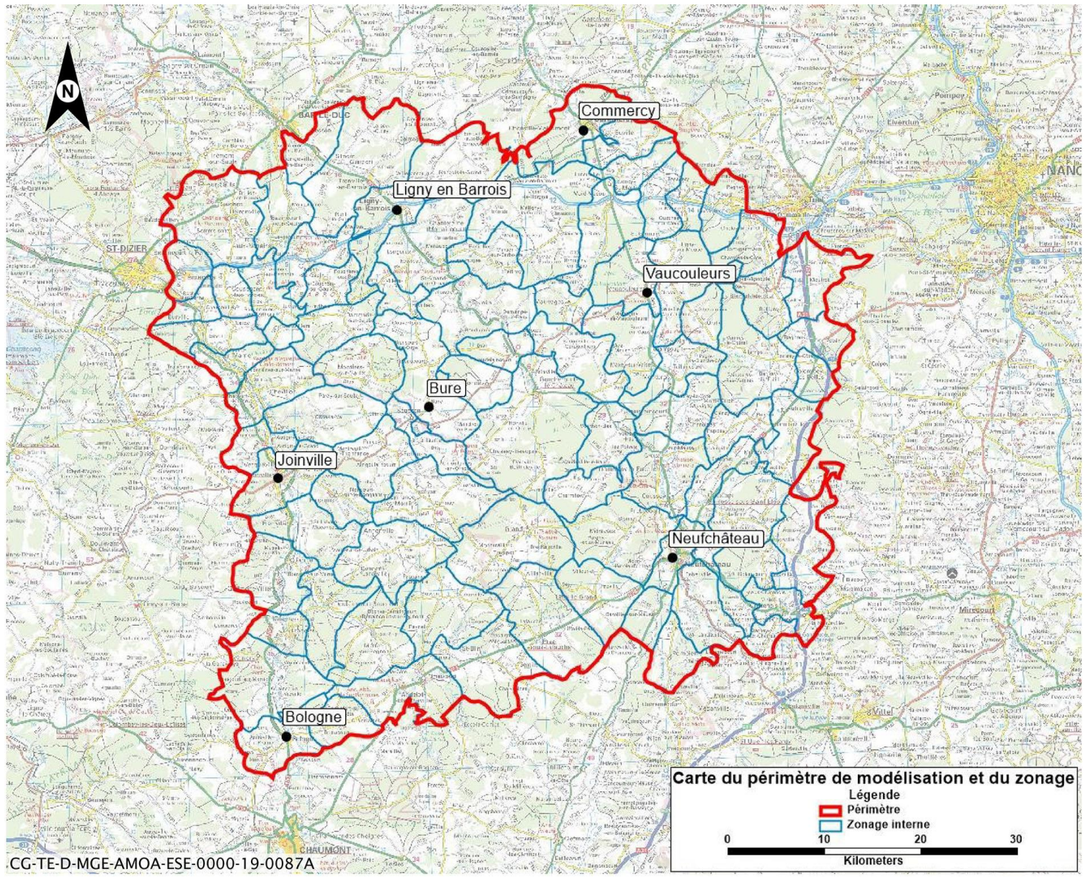


Figure 12-1 Périmètre de la modélisation de trafic

Il recoupe quatre départements différents (Meuse, Meurthe et Moselle, Vosges et Haute-Marne).

Ce périmètre est ensuite découpé en 89 zones (avec une zone puits et une zone descenderie) dont la finesse du découpage dépend des niveaux de population présents dans la commune. Ainsi, il a été choisi de regrouper certaines communes entre elles afin d'obtenir sur certains secteurs une taille critique en termes d'échantillon de population et ne pas obtenir trop de disparité entre les zones internes du modèle. 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 4 points cardinaux par rapport au périmètre de la modélisation.

Une fois le zonage réalisé, le positionnement des centroïdes (émettant et recevant les flux de déplacement) 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 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 (cf. Figure 12-2).

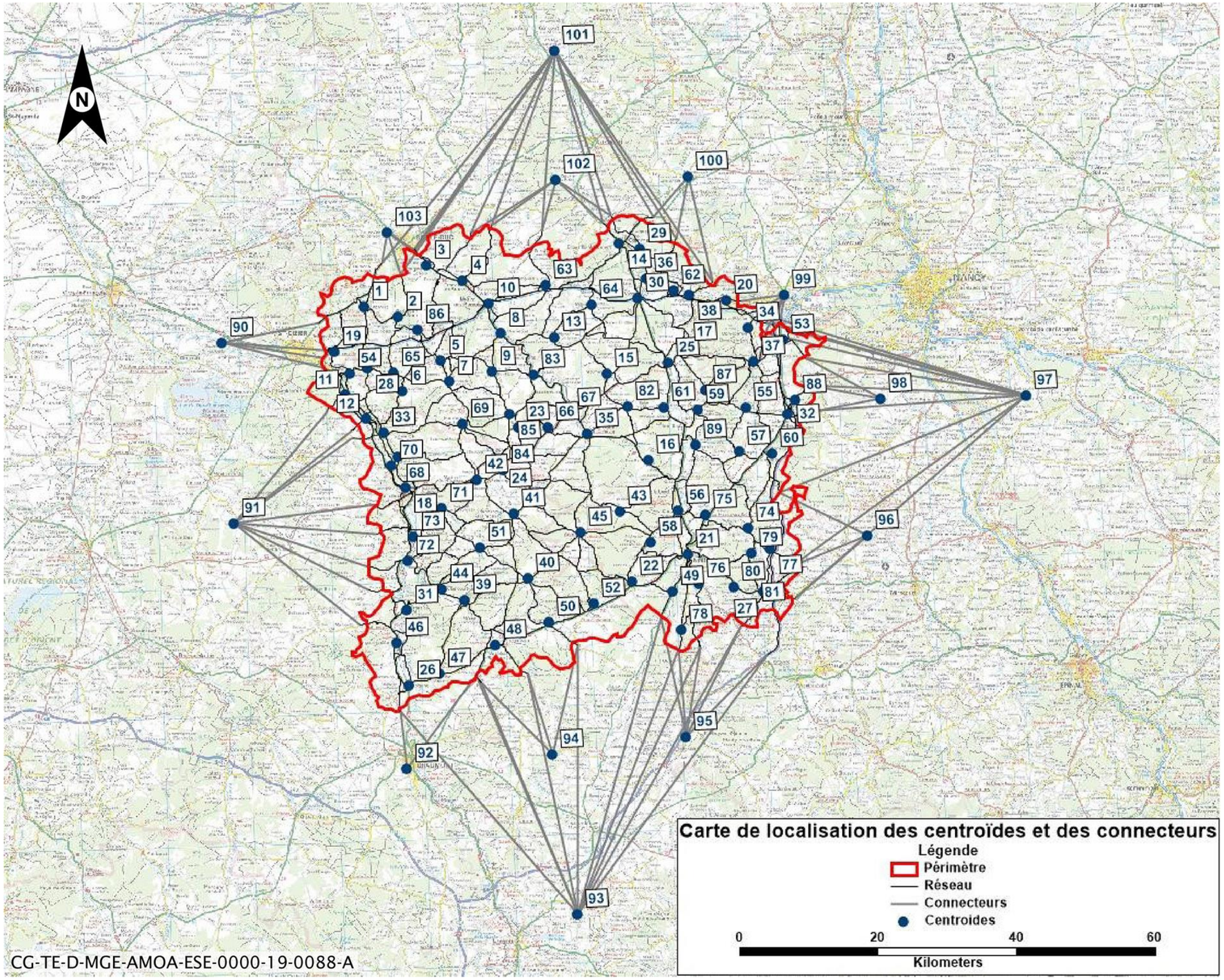


Figure 12-2 *Carte représentant les centroïdes et les connecteurs au sein du modèle*

12.3.2.2 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 Bureau of Public Roads américain) ;
- tarification (péage sur 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.

Tableau 12-1 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/1largeur 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	2 voies normales	1 200	2,6	46	5,6	3,4
22	2 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 suivant présente l'ensemble du réseau de voiries existant au sein du périmètre de modélisation.

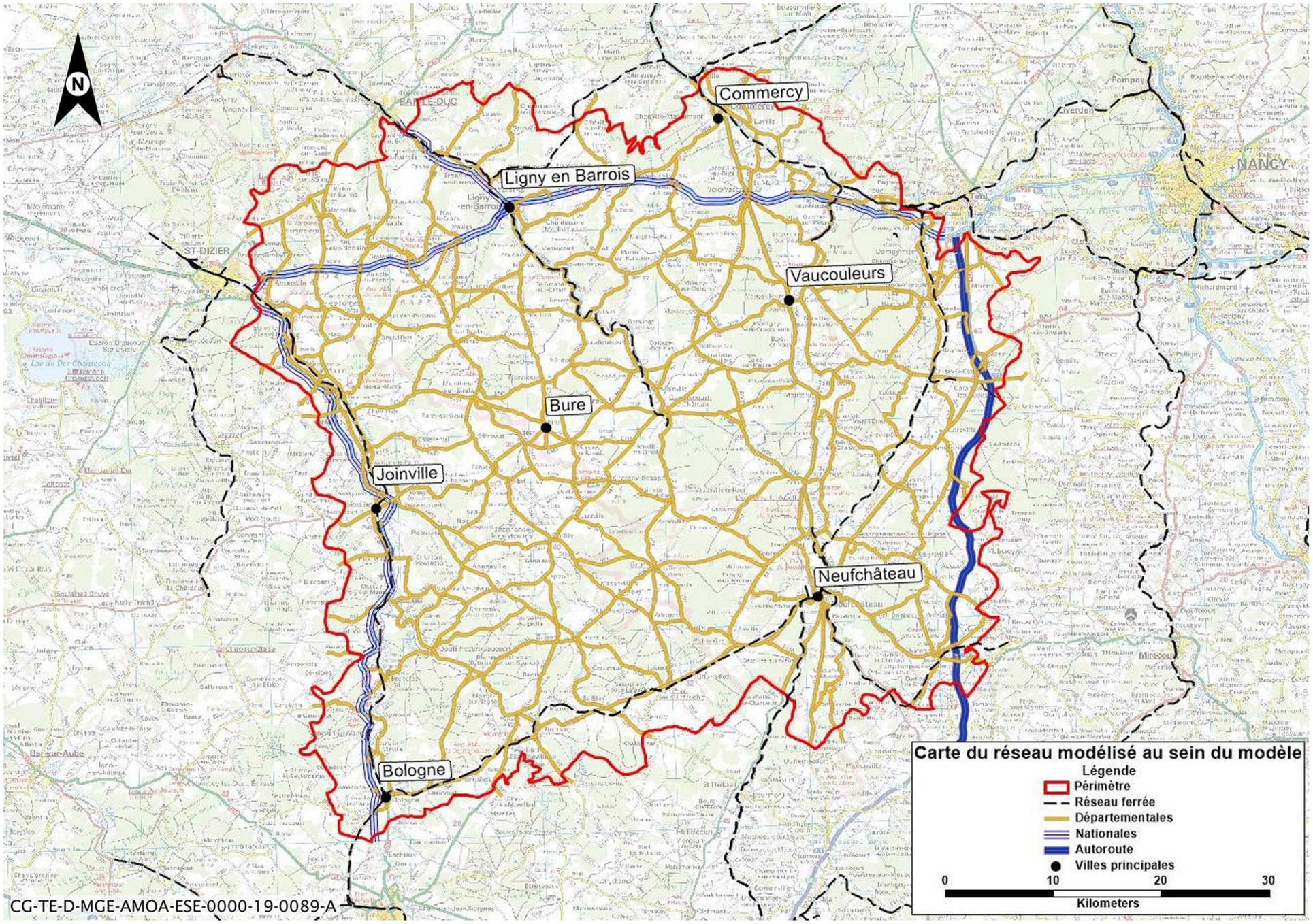


Figure 12-3 Carte du réseau modélisé au sein du modèle en fonction de la catégorie de voirie

12.3.2.3 État des lieux des données de trafics

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.

Ce sont au final près de 157 points de comptages qui ont ainsi été intégrés, dont 25 points réalisés par le prestataire de comptage de l'Andra, la société Alyce (cf. Figure ci-dessous). 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.

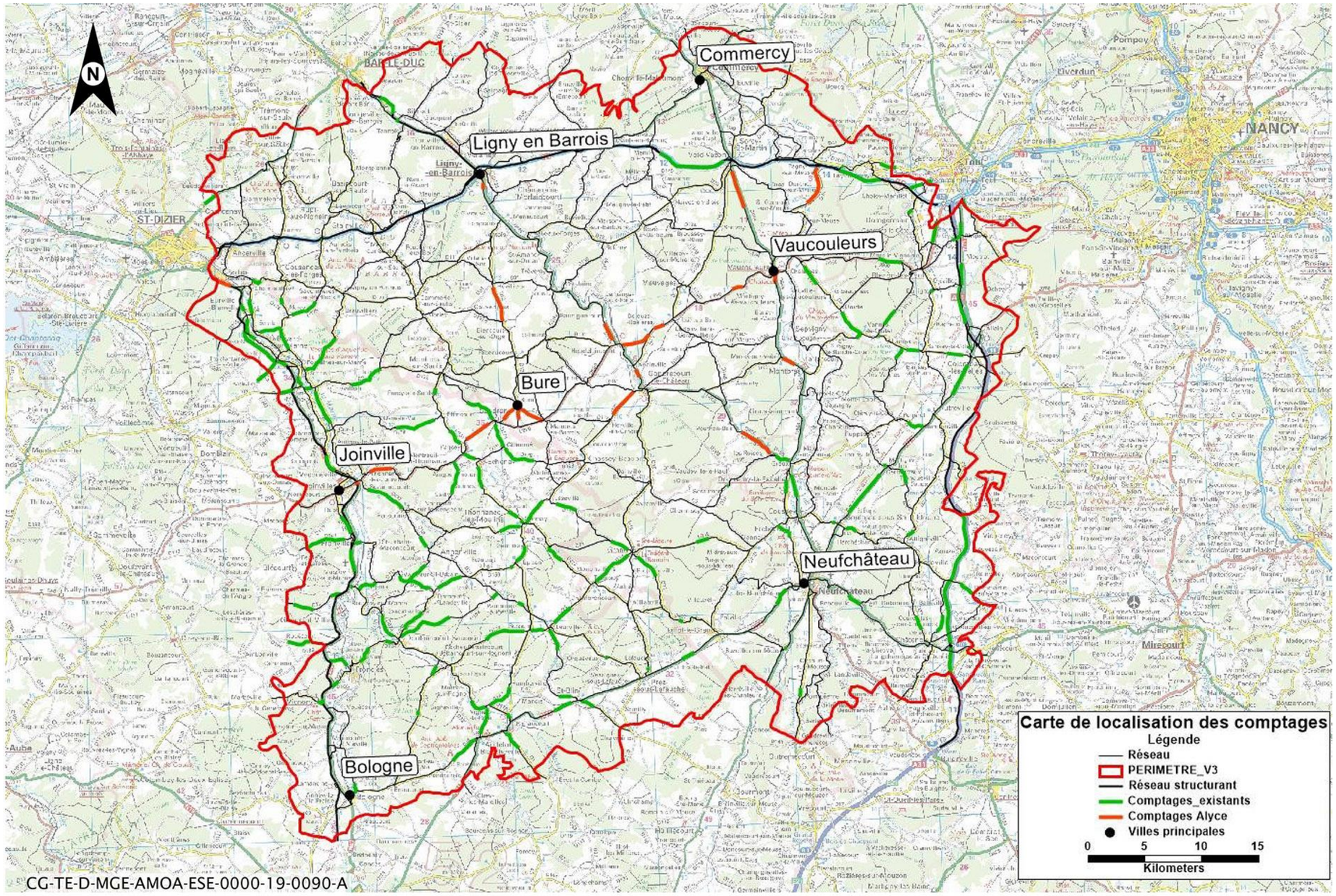


Figure 12-4 *Cartographie des 157 comptages intégrés au sein du modèle*

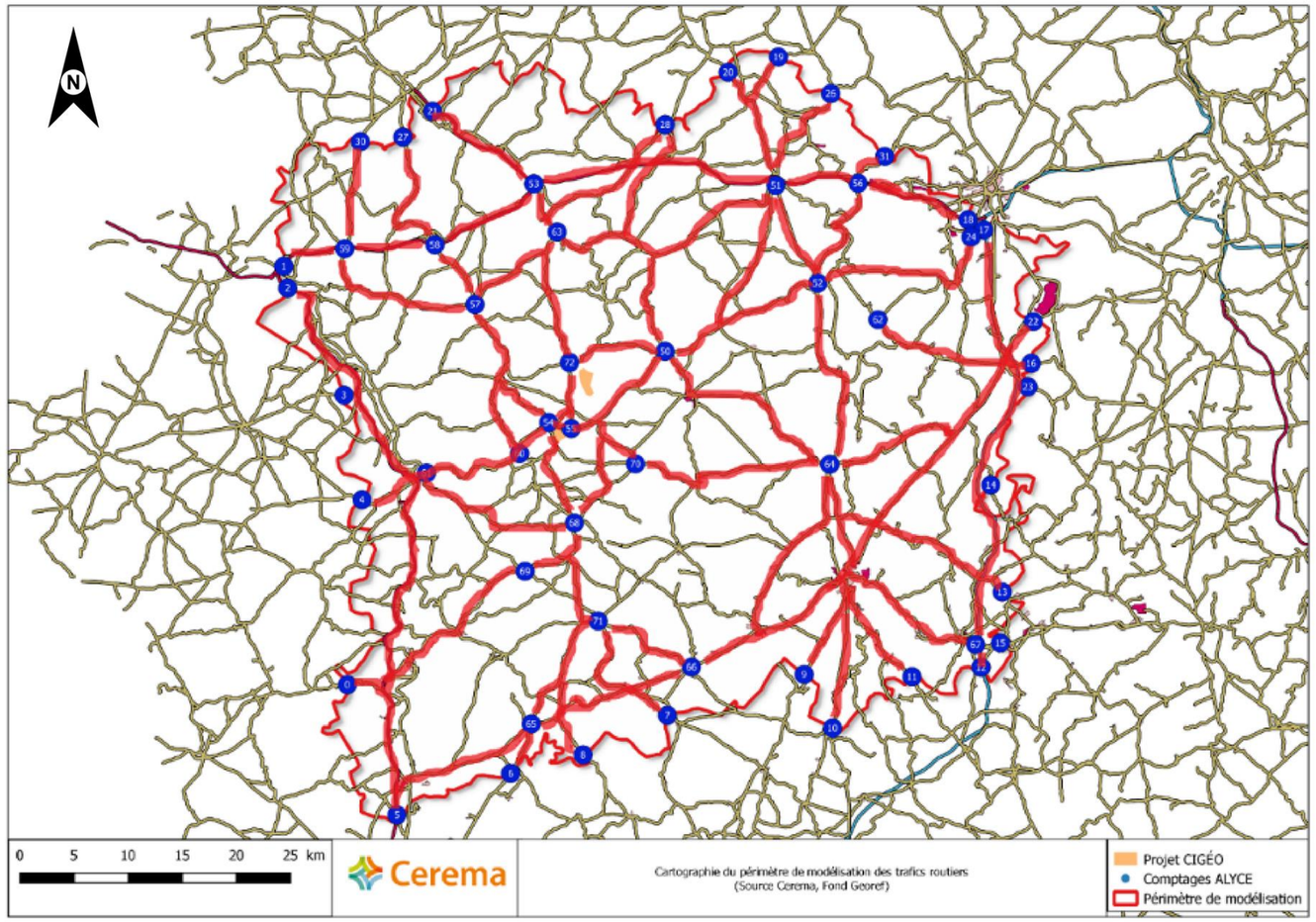
12.3.2.4 Calage du modèle

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

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 :



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0091-A

Figure 12-5 Itinéraires ayant fait l'objet d'une vérification des temps de parcours

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 de 1 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 157 points de comptages réalisés récemment.

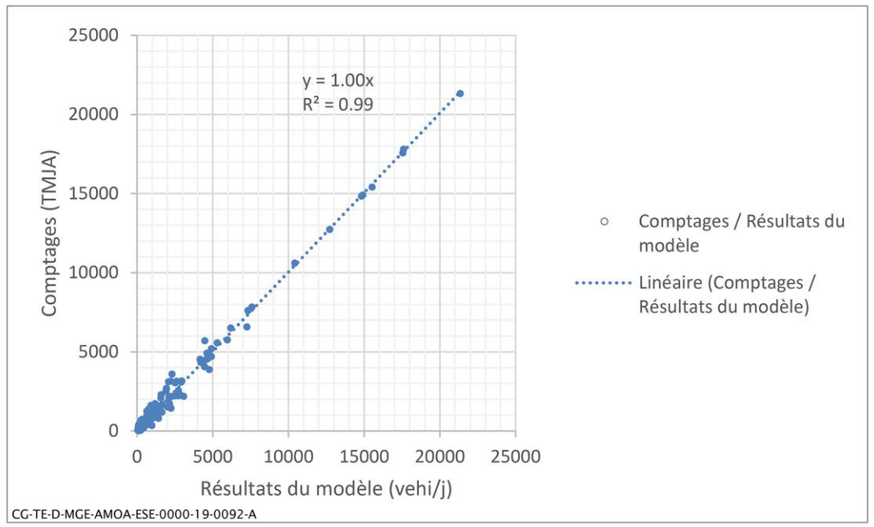


Figure 12-6 Comparaison des trafics issus du modèle et des comptages

Les résultats sont satisfaisants à l'échelle du modèle (le graphique de régression linéaire montre une pente de 1 et un coefficient de régression linéaire égale à 0,99).

En regardant point par point les écarts relatifs, ces derniers se révèlent bien plus importants sur les routes départementales. Ils s'expliquent par le faible niveau de trafic présent dans la majorité des cas sur des routes départementales. En effet, près de ¾ d'entre-elles supportent en réalité moins de 1 000 véhicules par jour.

Tableau 12-2 Synthèse des écarts relatifs par type de voie après le calage manuel

Type de route	Nombres	Écart relatif < 5 %	5 % < Écart relatif < 10 %	10 % < Écart relatif < 15 %	Écart relatif > 15 %
Autoroute	3	3	0	0	0
Nationale	12	8	1	0	3
Départementale	142	15	17	11	99

Afin d'en tenir compte, l'indicateur GEH (appelé ainsi d'après son inventeur Geoffrey E. Havers) est généralement utilisé dans les études de trafic. 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. Par exemple, une différence de 20 % sur une route avec 200 véhicules par jour est considérée comme largement acceptable (GEH de 2,7 et écart absolu de 40 véhicules par jour) alors que 20 % sur une route de 20 000 véhicules par jour l'est moins (GEH de 27 et écart absolu de 4 000 véhicules par jour).

Tableau 12-3 Synthèse des GEH par type de voie après le calage manuel

Type de route	Nombres	< 5 GEH	5 < GEH < 10	10 < GEH < 15	15 < GEH < 20	20 < GEH
Autoroute	3	3	0	0	0	0
Nationale	12	8	2	0	1	1
Départementale	142	57	41	27	16	1

Les résultats sont alors conformes à l'état de l'art des études de trafic.

b) Le calage automatique des flux internes de véhicules légers

Afin d'améliorer les résultats du modèle, un calage automatique est réalisé au sein du logiciel TransCAD pour les déplacements à l'intérieur du périmètre de modélisation). Les matrices VL et PL en échange et en transit n'ont pas été recalées automatiquement, leur recalage a été effectué sur chaque entrée/sortie du modèle en fonction des données de comptages disponibles sur les principaux axes structurants du territoire (RN67, RN4, A31, RN135, etc.).

L'utilisation du calage automatique sur les flux VL internes se justifie par le caractère approximatif des volumes de demande de déplacement calculés à partir des données domicile-travail du recensement de la population. Dans notre cas, les effectifs de flux « tous motifs » par origine-destination (OD) supérieurs à 900 peuvent normalement être utilisés en toute confiance. Les effectifs inférieurs à 350 doivent être maniés avec précaution car ils peuvent ne pas être significatifs. Les données de flux restent dans la majorité des cas une indication sur l'ordre de grandeur du résultat.

Tableau 12-4 Rappel du nombre d'OD significative à l'échelle de la matrice VL interne

Matrice VL interne	Nombre d'OD	Part par rapport aux OD non-nulles
Avec un flux >900 déplacements	6	0,6 %
Avec un flux >350 déplacements	34	3,1 %
Avec un flux >100 déplacements	186	17,1 %
Avec un flux non nul	1 089	100 %

L'outil a été paramétré afin de ne pas dénaturer totalement les volumes pour conserver l'ordre de grandeur initialement fourni par le recensement. Ainsi, la déformation permise reste invariablement dans une fourchette de +/-40 % par rapport à la valeur initiale, conformément à l'état de l'art.

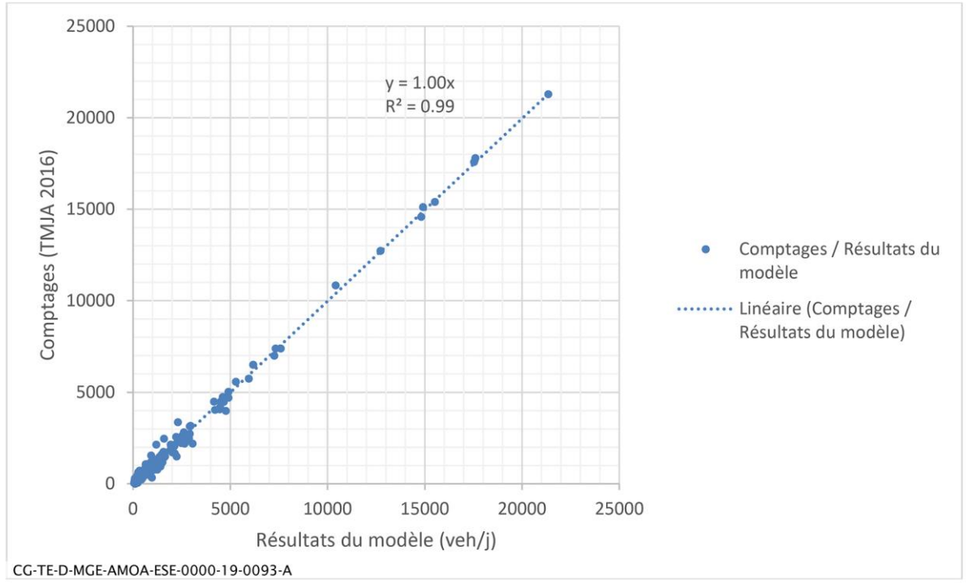


Figure 12-7 Comparaison entre les comptages et les résultats du modèle après le calage automatique

À l'échelle du modèle les résultats sont alors tout aussi bons mais, à l'échelle des tronçons ils sont bien meilleurs, notamment sur ceux avec moins de 5 000 véhicules par jour. Comme précédemment, les tableaux de synthèse des indicateurs sont produits par type de voie en fonction de l'écart relatif et du GEH.

Tableau 12-5 Synthèse des écarts relatifs par type de voie après le calage automatique

Type de route	Nb	Écart relatif <5 %	5 % < Écart relatif < 10 %	10 % < Écart relatif < 15 %	Écart relatif > 15 %
Autoroute	3	3	0	0	0
Nationale	12	9	0	0	3
Départementale	142	28	25	10	79

Tableau 12-6 Synthèse des GEH par type de voie après le calage automatique

Type de route	Nb	< 5 GEH	5 < GEH < 10	10 < GEH < 15	15 < GEH < 20	20 < GEH
Autoroute	3	3	0	0	0	0
Nationale	12	9	1	0	1	1
Départementale	142	85	31	18	7	1

L'analyse des résultats montre que les écarts relatifs sont plus faibles, mais surtout que les GEH obtenus sont également bien meilleurs.

12.3.2.5 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 jours. 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 ;
- 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) ;
- les données de trafics à l'heure de pointe sont en quantité insuffisante pour valider les hypothèses du modèle, notamment sur le réseau départemental ;
- 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.

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 12-7 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.

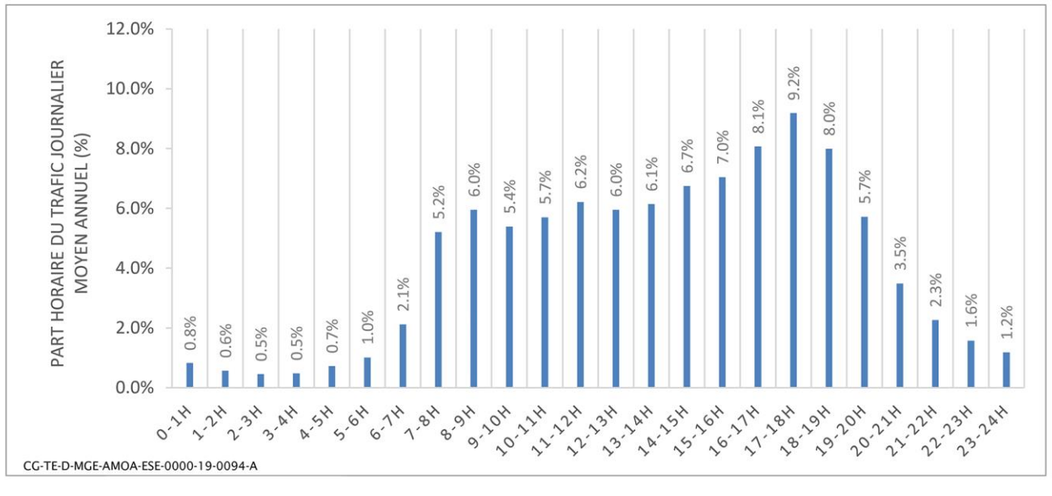


Figure 12-8 Profil horaire moyen pour les VL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo

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 %.

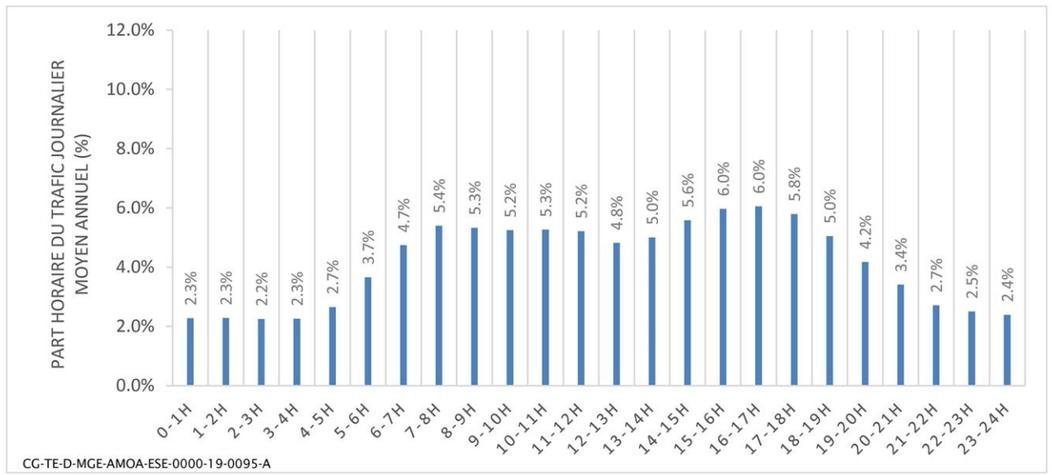


Figure 12-9 Profil horaire moyen pour les PL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo

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 RD 674 à Colombey-Les-Belles, un comptage sur la RD 166 à Rouvres et un comptage sur la RD 674 à Soulosse).

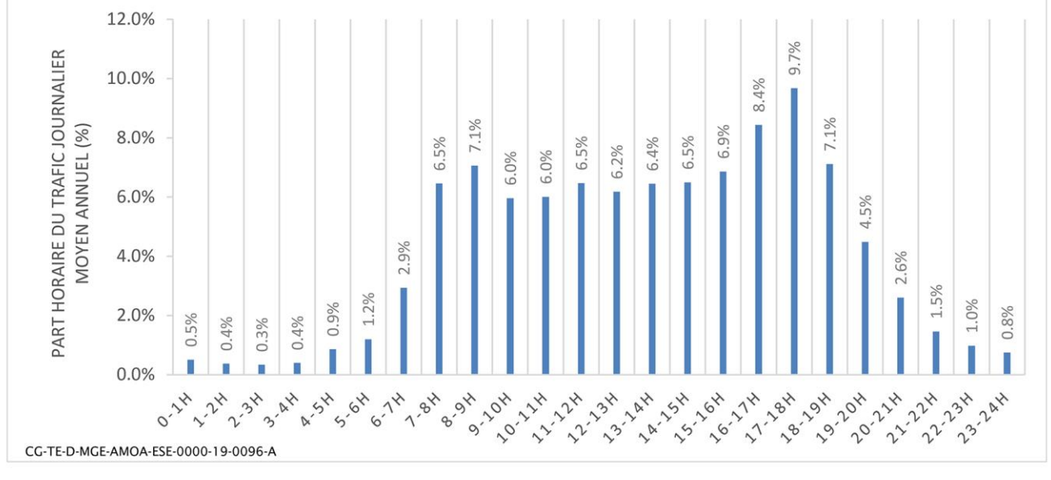


Figure 12-10 Profil horaire moyen "tous véhicules" sur le réseau départemental à proximité du projet global Cigéo

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 %.

12.3.2.6 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 les points noirs sur le réseau.

12.3.2.7 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.

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 niveau 1 indispensables à la réalisation de 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. 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.

Les deux accès à la zone descenderie pour la période d'aménagement préalable et la période de construction sont intégrés, avec une entrée côté Saudron et une autre entrée côté Mandres-en-Barrois. Ces deux entrées permettent à la fois l'accès aux véhicules personnels, mais également aux poids lourds pour les livraisons de marchandises. En revanche, en phase d'exploitation, un seul accès est conservé – du côté de Mandres-en-Barrois notamment pour des raisons d'exploitation (contrôle d'accès au site).

L'accès à la zone puits se fait uniquement par la route départementale D960 pour les véhicules particuliers. La déviation ne sera pas interconnectée avec la route départementale D315 ; la voie d'accès passant dessous grâce à un ouvrage. L'ensemble du trafic poids lourds à destination de cette zone arrivera en zone descenderie et empruntera la liaison privative intersites.

Point de vigilance : il n'existe pas de données ou d'hypothèses à ce stade permettant d'affecter les flux de véhicules ou de poids lourds à l'une ou l'autre des entrées à la zone descenderie durant la phase de construction. Le choix s'effectue donc uniquement en fonction de l'entrée la plus proche de l'itinéraire emprunté. En réalité, les employés et/ou les livraisons entreront selon leurs lieux de travail ou de stationnement au sein de la zone. Les résultats sur les trafics attendus au niveau de la déviation sont donc à relativiser en phase travaux.

a) 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 est actée.

  ✓ **Quantification des flux**

  - pour le transport de marchandises, la quantification des flux générés est basée sur le retour d'expérience de l'Andra sur des travaux antérieurs ;
  - concernant le transport des colis de déchets nucléaires, l'hypothèse selon laquelle l'essentiel des convois – estimé à deux par semaine au maximum – transite par la voie ferrée est privilégiée ;
  - 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).

  ✓ **Distribution des flux**

  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 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 tout en conservant 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 (période P6) ne sont pas modélisés, il est difficile d'estimer précisément la durée et l'importance de ces flux à l'heure actuelle.

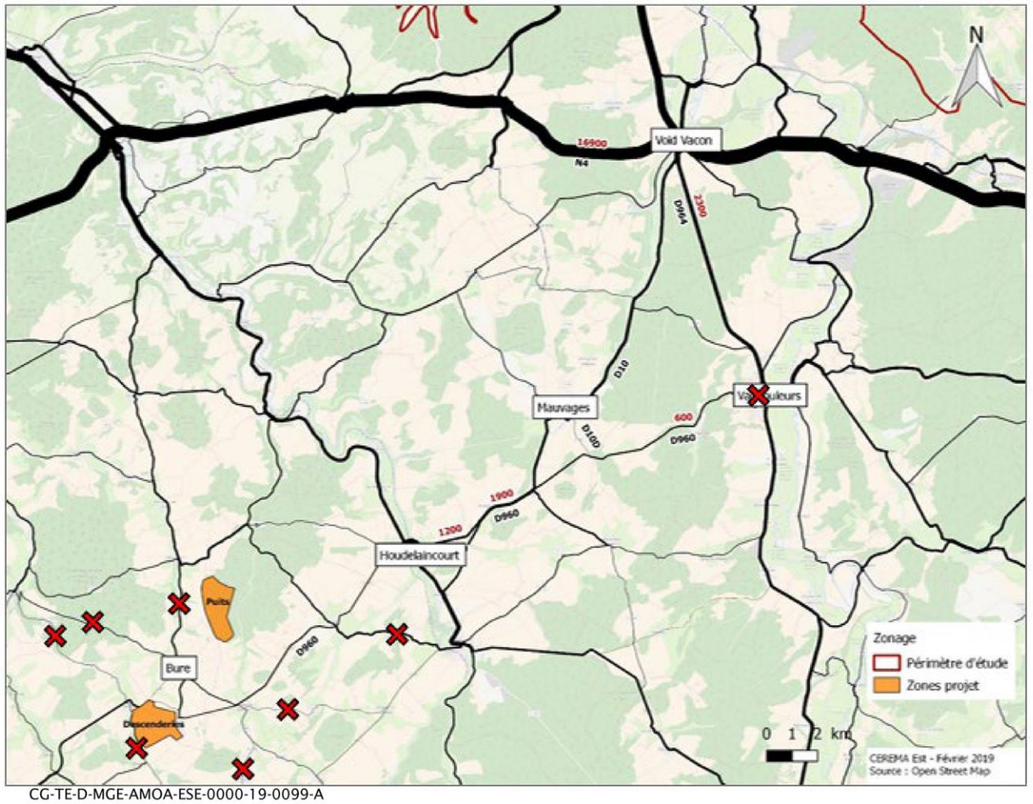
  Les hypothèses retenues ont été agrégées au sein d'un outil (Transcad 8.0) afin de produire de manière automatisée la répartition des flux routiers générés par le projet année après année à chaque horizon prospectif. Il devient alors possible de représenter année par année pour chaque horizon prospectif les flux routiers générés par le site. L'année de pic de la période de construction initiale constitue l'année où les trafics émis un jour moyen de semaine sont les plus élevés. On retiendra également que la même année, la part des tonnages transportés par le mode ferroviaire est estimée à 30 %.

12.3.2.8 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 seront en capacité de recevoir un fort trafic de PL sont donc :

- **en Meuse** : prioritairement l'axe route départementale D960/10 entre Saudron et Void-Vacon et en second la RD 966 entre Ligny et Houdelaincourt ;
- **en Haute-Marne** : la route départementale D60. À terme, l'itinéraire RD25 (entre la RD67 A et Germay) – RD151 (Entre Germa et la RD 60) actuellement en cours d'aménagement et d'études entre la RD674 et la RD60 (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.



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0099-A

Figure 12-11 Carte des interdictions PL mise en place au sein du modèle de trafic.

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 dans le calcul des consommations énergétiques

12.4.1 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 seconde 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.

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.

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.

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 12.4.2 du présent document).

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. On doit donc 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), 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 (123) :

- 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.

12.4.2 Notion de tonne d'équivalent-pétrole

L'Insee donne la définition suivante de la tonne d'équivalent pétrole (124) :

« 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 12-8 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

12.4.3 Consommations unitaires des véhicules de transport

On présente successivement les consommations des véhicules routiers (voitures particulières et poids lourds) et celles des trains de fret.

12.4.3.1 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) :

- le scénario AMS (avec mesures supplémentaires) ;
- le scénario AME (avec mesures existantes).

a) Scénario AMS (avec mesures supplémentaires)

Dans ce scénario, les évolutions des consommations unitaires des véhicules routiers sont les suivantes :

Tableau 12-9 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 (125)

Les évolutions de la composition des parcs roulants routiers sont les suivantes :

Tableau 12-10 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 12-11 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 (125)

b) Scénario AME (avec mesures existantes)

Dans ce scénario, les évolutions des consommations unitaires des véhicules routiers sont les suivantes :

Tableau 12-12 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 (125)

Les évolutions de la composition des parcs roulants routiers sont les suivantes :

Tableau 12-13 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 12-14 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 %
Électrique	0 %	0 %	0 %	0 %
Total	100 %	100 %	100 %	100 %

Source : « Cadrage du scénario de référence », fiche-outil, DGITM, mai 2019 (125)

12.4.3.2 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 12-15 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

12.5 Méthodologie pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité

12.5.1 Méthodologie appliquée pour le bilan coûts-avantages pour la collectivité

12.5.1.1 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 transports 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 (123), le Référentiel méthodologique pour l'évaluation des projets de transport (126) et les Fiches-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport (125) de 2019, 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 le présent dossier d'enquête publique préalable ;
- 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 transportés. 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.

12.5.1.2 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 12-16 *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	Option de projet
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

12.5.1.3 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 12.3.2 du présent volume).

12.5.1.4 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 que l'on retient le scénario 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 que l'on retient le scénario avec mesures supplémentaires ou celui avec mesures existantes ;
- les valeurs tutélaires évoquées ci-avant, ainsi que les règles de leur évolution dans le temps.

a) 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 12-17 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 12-18 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 (125) de 2019, DGITM

Tableau 12-19 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 12-20 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 (125) de 2019, DGITM

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 12-21 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 (125) de 2019, DGITM

Tableau 12-22 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 (125) de 2019, DGITM

Enfin, les coûts d'entretien, de consommables (hors carburant) et de dépréciation des véhicules routiers sont les suivants :

Tableau 12-23 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 (125) de 2019, DGITM

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.

b) 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 12-24 Prix des carburants hors toutes taxes (HTT[20]), 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

Tableau 12-25 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 12-26 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 12-27 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 (125)

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 12-28 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

[20] A 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 12-29 *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 (125)

Enfin, les coûts d'entretien, de consommables (hors carburant) et de dépréciation des véhicules routiers sont les suivants :

Tableau 12-30 *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 (125)

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.

c) 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 12-31 *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 (125)

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.

d) 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 12-32 *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 (125)

Dans ce scénario, à compter de 2070, les véhicules routiers en circulation n'émettent plus de carbone.

e) 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 12-33 *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	

Grandeur valorisée	Valeur tutélaires en €$_{2015}$	Évolution dans le temps
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 (125)

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).

12.5.2 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 $100/[1+4\ \%]^{10} = 100/1{,}04^{10} \approx 100/1{,}48 \approx 68$)[21]. 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 » (125). 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.

[21] $1{,}04^{10} = 1{,}04 \times 1{,}04 \times \ldots \times 1{,}04$ (dix fois).

12.5.2.1 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[22]. 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.

12.5.3 Méthodologie appliquée pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances

12.5.3.1 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 (cf. ci-avant le chapitre 12.5), 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.

12.5.3.2 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 12.4.1).

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.

12.5.3.3 Coûts unitaires retenus

Les coûts unitaires appliqués sont indiqués dans le tableau présenté ci-avant (cf. ci-avant le Chapitre 12.5.1.4).

[22] 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 152
13.2 Environnement vibratoire 155
13.3 Nuisances lumineuses 156
13.4 Nuisances olfactives 156
13.5 Champs électromagnétiques 156

13.1 Environnement sonore

13.1.1 État actuel

Les plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) ont été consultés.

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.

Des mesures de bruit ont été réalisées en mars 2015, juillet 2015 et février 2017 par Socotec (127–129), Acouphen et Venatech (130) afin de caractériser les niveaux sonores (niveau de bruit résiduel) en limite de propriété (terme réglementaire 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 (habitations et établissements recevant du public au niveau de Saudron, Bure, Gillaumé, Mandres-en-Barrois, Ribeaucourt, Cirfontaines-en-Ornois, Luméville, Horville-en-Ornois et Gondrecourt-le-Château).

Les mesures ont été réalisées conformément à la norme NF S 31-010 (131) « 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 mesures ont été effectuées à l'aide de sonomètres intégrateurs, sur des durées de 24 h, en distinguant la période diurne (7 h - 22 h) et la période nocturne (22 h - 7 h).

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 EN IEC 60-942 (132).

13.1.2 Réglementation en vigueur

Le projet global Cigéo est constitué de plusieurs opérations qui sont soumises à des réglementations différentes en matière d'acoustique. De plus, la réglementation distingue les phases de construction (chantier) et les phases d'exploitation.

13.1.2.1 Réglementation des chantiers de construction

Lors de la phase de construction d'une infrastructure (hors infrastructure de transport), le chantier est soumis au code de santé publique (article R. 1334-36 et article R. 1336-10). Ceux-ci ne précisent pas de valeur limite à respecter, que ce soit pour les niveaux sonores ou les émergences[23]. Cependant les travaux ne doivent pas porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé des riverains. Ceci s'applique à la construction des installations du centre de stockage (ZP, ZD, convoyeur), des installations sous la maîtrise d'ouvrage de RTE et des canalisations (dont syndicat des eaux).

Pour la construction des infrastructures de transport (voies ferrées et routes), le chantier est soumis aux exigences du code de l'environnement (article R. 571-50). Ce texte ne précise pas de valeur limite à respecter. Cependant, l'article précise que préalablement au démarrage d'un chantier, le maître d'ouvrage doit fournir aux préfets et aux mairies des communes concernées 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. Sur la base des informations fournies, sous la forme d'un dossier dénommé « dossier bruit de chantier » déposé en préfecture et dans les mairies concernées un mois avant le démarrage des travaux, le préfet peut prescrire des mesures particulières de fonctionnement du chantier (accès, horaires…). Cette règlementation s'applique à la construction de l'installation terminale embranchée, de la déviation de la RD 960 et de la liaison intersites routière, ainsi qu'à la remise en état de la ligne ferroviaire 027000.

13.1.2.2 Réglementation pour les installations en exploitation

a) Réglementation pour les INB et les ICPE :

Une partie des installations du centre de stockage Cigéo sera soumise à la réglementation INB et certaines installations pourraient également être soumises à la réglementation ICPE en fonction des équipements présents. Dans les deux cas, la réglementation acoustique est fixée par l'arrêté ministériel du 23 janvier 1997 modifié (133) relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.

Cet arrêté fixe des exigences pour chaque période diurne (7 h - 22 h) et nocturne (22 h - 7 h), en termes :

- de niveaux sonores maximum en limite de propriété ;
- d'émergence (ajout de bruit) en zones à émergence réglementée (ZER) ;
- de tonalités marquées en ZER.

En limite de propriété, les valeurs fixées par l'arrêté d'autorisation ne peuvent excéder **70 dB(A)**[24] pour la période de jour et **60 dB(A)** pour la période de nuit (sauf si le bruit résiduel pour la période considérée est supérieur à cette limite).

Pour les ZER, les valeurs limites d'émergence sont définies dans le tableau 13-1 :

Tableau 13-1 Valeurs d'émergences admissibles pour les INB et les ICPE

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée, incluant le bruit de l'établissement	Émergence admissible pour la période diurne (de 07 h 00 à 22 h 00 sauf dimanches et jours fériés)	Émergence admissible pour la période nocturne (de 22 h 00 à 07 h 00 ainsi que les dimanches et jours fériés)
Supérieur à 35 dB(A) et inférieur ou égal à 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
Supérieur à 45 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

Cas particulier : conformément à l'annexe de l'arrêté du 23 janvier 1997 (133), dans le cas où la différence **LAeq**[25]-L 50 du bruit résiduel est supérieure à 5 dB(A), on utilise comme indicateur d'émergence la différence entre les niveaux **L50**[26], calculés sur le bruit ambiant et le bruit résiduel.

13.1.2.3 Réglementation pour les infrastructures ferroviaires :

L'ITE et la voie ferroviaire 027000 dans leur phase d'exploitation seront soumises à la réglementation des infrastructures ferroviaires définie dans l'arrêté du 8 novembre 1999 (134). Seules sont prises en compte les contributions sonores des infrastructures elles-mêmes, abstraction faite des autres sources en présence.

Les niveaux sonores maximums admissibles pour la contribution de l'infrastructure (tracé neuf) sont précisés dans le tableau 13-2.

Tableau 13-2 Niveaux sonores admissibles dans le cas des infrastructures ferroviaires nouvelles

Usage et nature des locaux	LAeq (6 h - 22 h)	LAeq (22 h - 6 h)
Établissements de santé, de soins et d'action sociale	60 dB(A)	58 dB(A)
Établissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	63 dB(A)	Aucune obligation

[23] Émergence = bruit ambiant (avec l'installation en fonctionnement) – bruit résiduel (bruit initial, sans l'installation)
[24] dB(A) ou décibel pondéré A : unité de mesure du niveau sonore (pondéré).
[25] LAeq ou niveau sonore équivalent : niveau énergétique moyen pour une période donnée
[26] Niveau fractile L50 : niveau sonore qui a été dépassé pendant 50 % du temps de mesurage

Usage et nature des locaux	LAeq (6 h - 22 h)	LAeq (22 h - 6 h)
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	63 dB(A)	58 dB(A)
Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	68 dB(A)	Aucune obligation

Pour le réaménagement d'un voie ferrée existante, la règlementation prévoit une approche spécifique qui consiste à analyser simultanément les critères de modification significative (écart avec /sans projet > à 2 dB(A) ou non) et de dépassement de seuils (voir tableau ci-dessous).

Tableau 13-3 Seuils acoustiques réglementaires pour une ligne ferroviaire modifiée

Usage et nature des locaux	Zone d'ambiance sonore préexistante (3)	Période jour		Période nuit	
		LAeq en dB(A) de la voie ferrée initiale	LAeq en dB(A) max admissible après travaux (1)	LAeq en dB(A)de la voie ferrée initiale	LAeq en dB(A) max. admissible après travaux (1)
Établissement de santé, de soins et d'action sociale (2)	Indifférente (modérée ou non modérée)	≤63	63	≤58	58
Établissement d'enseignement	Indifférente (modérée ou non modérée)	≤63	63	/	/
Locaux à usage de bureaux	Modérée	Indifférent	68	/	/
Logements	Modérée	≤63	63	≤58	58

(1) *Ces valeurs sont supérieures de 3 dB (A) 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. Il convient de tenir compte de cet écart pour toute comparaison avec d'autres réglementations qui sont basées sur des niveaux sonores maximaux admissibles en champ libre ou mesurés devant des fenêtres ouvertes.*

(2) Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour de malades, ce niveau est abaissé à 60 dB (A) de jour et à 55 dB(A) de nuit.

(3) L'explication des notions d'ambiance sonore modérée et non modérée est donnée en début de ce chapitre au niveau de l'échelle des niveaux sonores

Appliquée à la ligne ferroviaire 027000, le trafic actuel étant nul et le bruit ambiant étant modéré sur l'ensemble de la ligne, la réglementation de transformation d'une voie ferrée existante revient à considérer les seuils de bruit pour un projet neuf.

a) Réglementation pour les infrastructures routières

La déviation de la route départementale D960, ainsi que la liaison intersites routière dans leur phase d'exploitation seront soumises à la réglementation des infrastructures routières. Celle-ci est définie dans les textes suivants :

- 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 (135) ;
- circulaire n° 97-110 du 12 décembre 1997 (130) relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national.

Seule est prise en compte la contribution sonore de l'infrastructure elle-même, abstraction faite des autres sources en présence sur le site.

Les niveaux maximums admissibles pour la contribution sonore de l'infrastructure routière sont précisés dans le tableau 13-4.

Tableau 13-4 Niveaux sonores admissibles dans le cas des infrastructures routières

Usage et nature des locaux	LAeq (6 h - 22 h)	LAeq (22 h - 6 h)
Établissements de santé, de soins et d'action sociale	60 dB(A)	55 dB(A)
Établissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	60 dB(A)	Aucune obligation
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée[27]	60 dB(A)	58 dB(A)
Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	65 dB(A)	Aucune Obligation

b) Réglementation pour le poste de transformation électrique

Dans sa phase d'exploitation, le poste électrique est soumis à l'arrêté du 17 mai 2001 modifié (136). L'article 12 ter stipule que 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 ci-après :

- si le niveau de bruit ambiant mesuré (comportant le bruit des installations électriques) est inférieur à 30 dB(A), dans ce cas aucun objectif ne s'applique pour l'émergence ;
- si le niveau de bruit ambiant est supérieur à 30 dB(A), l'émergence globale du bruit provenant des installations électriques doit être inférieure à 5 dB(A) en période diurne et inférieure à 3 dB(A) en période nocturne.

c) Autres réglementations applicables

Lorsqu'il n'existe pas de réglementation spécifique comme celles citées ci-avant, la réglementation générale relative à la lutte contre les bruits de voisinage s'applique. Celle-ci est codifiée par les articles R. 1334-30 et suivants du code de la santé publique. Ce cas s'applique au fonctionnement du convoyeur semi-enterré ou des canalisations (adduction d'eau).

Les valeurs maximales d'émergence à ne pas dépasser à l'extérieur des habitations sont les suivantes :

- si le niveau de bruit ambiant est inférieur ou égal à 30 dB(A), il n'y a pas de valeur limite réglementaire d'émergence ;
- si le niveau de bruit ambiant est supérieur à 30 dB(A), l'émergence maximale doit être inférieure à 5 dB(A) en période diurne et inférieure à 3 dB(A) en période nocturne.

[27] Une zone est considérée d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant existant à 2 m en avant des façades des bâtiments avant la réalisation de l'aménagement projeté est tel que : LAeq (6 h - 22 h) < 65 dB(A) et LAeq (22 h - 6 h) < 60 dB(A)

13.1.3 Incidences

Pour évaluer les incidences, des modélisations 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 (137) ;
- calcul acoustique simplifié pour la ligne ferroviaire 027000.

Le logiciel utilisé par Venatech pour réaliser les modélisations 3D est CADNAA de DATAKUSTIK. Celui-ci 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).

Les sources de bruit modélisées sont présentées au chapitre 13.1 du volume IV.

Les modélisations en tenant compte de différents paramètres :

- implantation des bâtiments concernés par les nuisances (issue de la couche BATI-INDIFFÉRENCIE – Données SIG) ;
- topographie (issue de la couche IGN MNT - 50 mmm – Données SIG) ;
- végétation (issue de la couche IGN VÉGÉTATION – Données SIG) ;
- conditions météorologiques ;
- puissance acoustique des différentes sources potentielles de bruit présentes ;
- méthodes de calcul de propagation sonore environnementale suivantes ;
  - ✓ ISO9613-1 (138)/9613-2 (139) pour les sources de bruit de type industriel ;
  - ✓ NMPB 2008 pour les bruits de trafic routier (140) ;
  - ✓ NMPB-Fer pour les bruits de trafic ferroviaire (141).

Les paramètres généraux de calcul retenus sont les suivants :

- température de 10 °C (cas conservateur) ;
- absorption du sol : 0,68 (milieu rural) ;
- nombre de réflexions successives = 2 ;
- réflexion sur bâtiments : -1 dB par réflexion (bâtiment réfléchissant) ;
- hygrométrie de 70 % ;
- cartographies acoustiques : maillage de 10 m x 10 m à hauteur de 2 m du sol.

Les résultats des modélisations sont ensuite comparés aux niveaux admissibles vis-à-vis de la réglementation de chaque opération.

Les modélisations réalisées et présentées dans la présente étude d'impact seront actualisées lors des étapes de conception ultérieures du projet et présentées dans les versions actualisées de la présente étude d'impact.

Au stade d'avancement actuel, l'incidence acoustique de la ligne ferroviaire 027000 n'étant pas encore modélisée, une 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 sur 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).

- Type de convois et émissions sonores unitaires

Le tableau ci-dessous présente les types de convois pris en compte :

Tableau 13-5 Type de convois et émissions unitaires estimées (bruit moyen émis par un convoi sur la période de jour (6h-22h))

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)

- Nombres de trains par phase du projet

  Les hypothèses de trafic sont présentées au chapitre 12.1 du volume IV.
- Aménagement et exploitation de la voie

  L'aménagement et l'exploitation de la voie ferrée détermine des paramètres qui sont également essentiels pour l'évaluation de l'incidence acoustique du projet. Il s'agit notamment de :
  - ✓ de la vitesse qui est de 40 km/h maximum sur la ligne 027 000 ;
  - ✓ de l'armement de la voie : des Longs Rails Soudés (LRS) et des traverses en béton sont pris en compte ce qui représente un gain respectif de 3 dB(A) pour chaque équipement par rapport à l'état de la voie actuelle (rails courts sur traverses en bois).
- Une étude acoustique menée par SNCF Réseau est en cours et inclut des modélisations en trois dimensions. Elle sera intégrée aux versions actualisées ultérieures de la présente étude d'impact.

13.2 Environnement vibratoire

13.2.1 État actuel

Les installations sources de vibration ont été recherchées dans l'aire d'étude immédiate autour du centre de stockage Cigéo. Des mesures vibratoires ont été réalisées en juillet 2015 (142) au niveau de la zone descenderie (aucune habitation n'étant présente à proximité directe de la zone descenderie) afin de définir l'état actuel 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 » (143).

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 points de mesures courtes ont été réalisées à différents moments de la journée afin de valider les mesures longues durées.

Depuis ces mesures, aucune modification majeure de l'état actuel dans la partie sud de l'aire d'étude immédiate là il est prévu d'implanter le centre de stockage.

Des mesures de vibration complémentaires seront effectuées lors de la poursuite des études du centre de stockage, mais également de 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.

13.2.2 Règlementation

Il n'existe, à ce jour, aucune réglementation spécifique encadrant les vibrations produites par les activités du projet global Cigéo :

- seuls les tirs de mines effectués dans les carrières sont soumis à une réglementation, or la construction du centre de stockage n'est pas considérée comme une 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.

Malgré l'absence de règlementation, les travaux, normes et circulaires ministérielles cités ci-dessous 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. Les textes de référence sont les travaux de P. Chapot (144). les recommandations de l'AFTES (145), les recommandations du GFEE (groupe Français de l'énergie explosive), le guide du SETRA (39) et la norme ISO 2631-2 (146).

La comparaison de ces travaux a permis le choix d'un seuil limite fixé à 10 $mm.s^{-1}$ pour évaluer l'impact des vibrations associées aux explosifs. Ce seuil limite est également mentionné dans l'arrêté du 22 septembre 1994 (147) relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières.

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) » (143). 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 ISO 2631-2 (146).

En synthèse, les seuils retenus pour l'évaluation des effets vibratoires sont les suivants :

- pour les dommages aux structures :
  - ✓ 2 $mm.s^{-1}$ pour les vibrations continue ;
  - ✓ 4 $mm.s^{-1}$ pour les vibrations impulsionnelles ;
  - ✓ 10 $mm.s^{-1}$ pour les vibrations liées aux tirs d'explosifs.
- pour la perception des vibrations par l'être humain : 0,10 $mm.s^{-1}$

L'évaluation de l'impact des vibrations générées par les convois ferroviaires en exploitation est réalisée à partir de la circulaire du 23 juillet 1986 « relative aux bruits mécaniques émises dans l'environnement par les ICPE » (143).

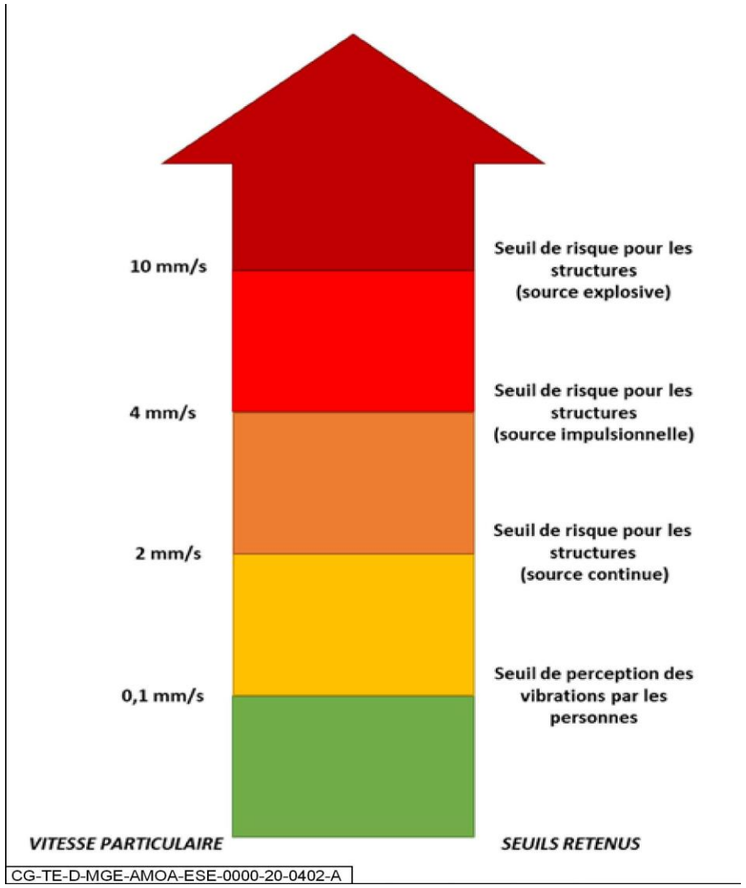


Figure 13-1 Échelle des seuils de vibration retenus pour l'évaluation des effets vibratoires

13.2.3 Calcul et modélisation des incidences liées aux vibrations

Afin de prévoir les vibrations générées par le projet global Cigéo, différentes méthodes des 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, X., C. J. C. Jones, and D. J. Thompson (148).

✓ **Vibrations liées aux tirs à l'explosif : méthode de « Chapot » (144)**

L'impact des vibrations générées lors de tirs de creusement de puits, a été évalué à l'aide de l'équation de Chapot. Celle-ci permet d'évaluer la vitesse particulaire maximale V_{max} en $mm.s^{-1}$ comme suit :

$$Vmax = K(\frac{D}{Q^{0.5}})^{-1.8}$$

Le tableau suivant présente les paramètres pris en compte pour le calcul. Le choix de ces paramètres est fondé sur la loi Chapot et tient compte des résultats des mesures lors des tirs de 2000 et 2001 sur les puits du Centre de Meuse/Haute-Marne (CMHM).

Tableau 13-6 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.

✓ **Vibrations liées aux convois ferroviaires circulant sur l'ITE**

Une modélisation numérique spécifique développée par Ingérop sur la base des travaux de Sheng, X., C. J. C. Jones, and D. J. Thompson (148) 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 ISO14837-1 : 2005.

Cette méthode est appliquée pour les passages de convois ferroviaires en phase d'exploitation.

Ce modèle prend en compte :

- le train, considéré comme 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 m puis extrapolés à la distance souhaitée et ainsi comparés aux normes en vigueur.

13.3 Nuisances lumineuses

La détermination de l'état actuel pour les nuisances olfactives et l'analyse des incidences a été réalisée à partir de visites de terrain et à dire d'experts.

13.4 Nuisances olfactives

La détermination de l'état actuel pour les nuisances olfactives et l'analyse des incidences a été réalisée à partir de visites de terrain et à dire d'experts.

13.5 Champs électromagnétiques

Les caractéristiques des ouvrages électriques sont déterminées par Rte. Les incidences des infrastructures pour l'alimentation électrique sont évaluées à dire d'expert, en fonction de la distance des riverains des différentes opérations du projet global, lorsque ces opérations sont suffisamment définies, aux infrastructures.

14

Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs - Méthodes

14.1 Paysage 158
14.2 Patrimoine culturel 159
14.3 Activités de loisir et tourisme 159

14.1 Paysage

14.1.1 État actuel du paysage

L'état actuel du paysage s'appuie sur une lecture fine du territoire. Cette lecture consiste à étudier la topographie, le réseau hydrographique, les structures végétales, la localisation des lieux vécus, habités (village, hameaux, habitations isolées), récréatifs (chemins de randonnées, etc.) et patrimoniaux et également la hiérarchie du réseau viaire et des différents itinéraires, modes de locomotion ou de transport utilisés.

C'est l'analyse de ces différentes composantes comme le montre la figure 14-1 qui permet de caractériser un paysage.

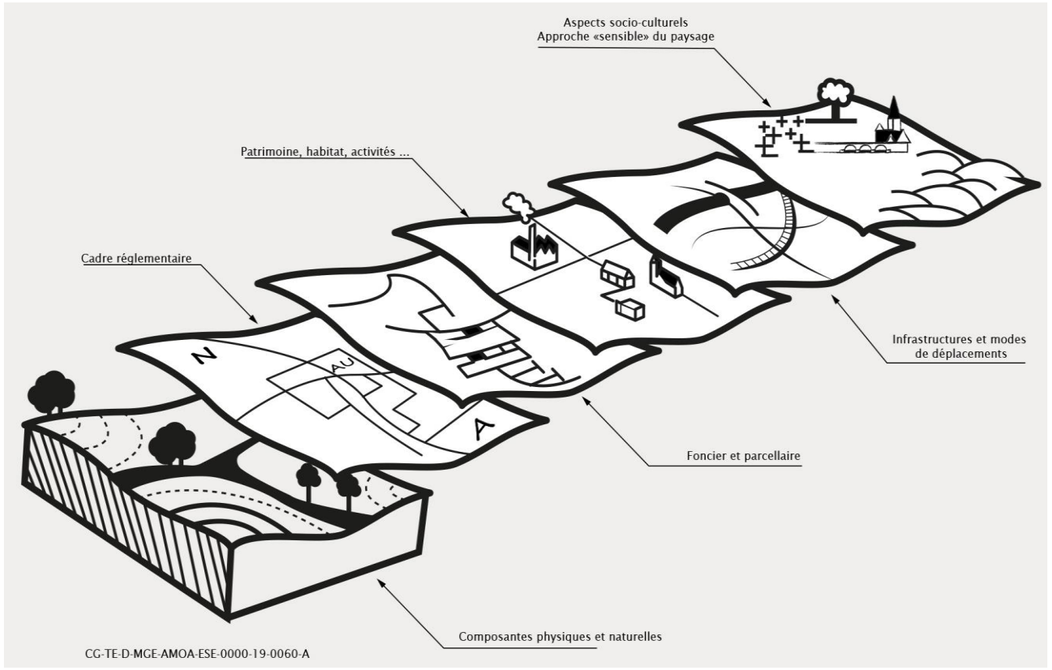


Figure 14-1 Composantes d'analyse du paysage

Cette analyse s'est appuyée sur des visites de terrain et deux reportages photographiques réalisée en juin 2017 et en mars 2019 et sur la consultation des bases de données publique telles que geo.data.gouv.fr pour le recensement des éoliennes (149), Corine Land Cover pour l'occupation des sols (150), etc.

La lecture de l'état actuel du paysage a permis de dégager les unités paysagères, unité élémentaire du découpage d'un territoire, rencontrées sur l'aire d'étude rapprochée.

Les sensibilités paysagères s'évaluent en recoupant différentes approches :

- l'approche visuelle du contexte paysager consiste à étudier sur un territoire donné la sensibilité visuelle des lieux. Elle se fait à partir de l'identification des échelles perçues, des vues majeures reconnues ou protégées, des éléments repères et des champs de visibilité. Elle apporte une réponse objective pour la suite de l'analyse ;
- l'approche sociale concerne la reconnaissance collective des paysages par la population et/ou des groupes sociaux (il ne s'agit pas des intérêts particuliers). Celle-ci s'appréhende par l'examen de documents existants destinés au grand public (guides touristiques, publications, cartes postales) voire par des enquêtes. Une forte densité de lieux reconnus rend les perceptions collectives sensibles et complexes ;
- les tendances d'évolutions des paysages permettent de mieux apprécier les perturbations ou les améliorations que peuvent apporter un projet dans un paysage donné et donc de mieux estimer les concordances ou les discordances avec les sensibilités paysagères. Le paysage concerné est-il stable ? Est-il produit par une activité traditionnelle très ancrée sur le territoire ? Est-il en mutation, abandonné ou délaissé ?

14.1.2 Évaluation des incidences sur le paysage

Dans le cadre de l'aménagement du projet global Cigéo, la détermination de l'importance d'un impact paysager vis-à-vis du territoire existant se fait à l'aide des trois critères suivants :

- l'intensité : elle fait référence à la perturbation engendrée par le projet sur le paysage physique et social préexistant (remise en cause de son intégrité ou de son utilisation, modification du milieu physique, impact sur les structures paysagères en place, les lignes de compositions et les points de repère, etc.) ;
- l'étendue : elle fait référence au degré de perception des aménagements ;
- la durée de perception : elle fait référence à la période pendant laquelle les effets du projet sont ressentis dans le paysage.

a) La 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.

Elle est réalisée à partir :

- de l'analyse morphologique du territoire : la topographie, la végétation et tous autres masques visuels (installations humaines, bâtiments, remblais, etc.) ;
- de visites de site ;
- d'analyses sur la base de reportages photographiques, à différents moment 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).

b) Le choix des points de vue

Après avoir déterminé les zones depuis lesquelles le projet sera visible, l'analyse des impacts se porte sur le choix de points de vue représentatifs du territoire d'accueil.

Dans cette analyse, les points de vue retenus sont des espaces fréquentés et circulés par le public : lieux de passage majeurs, zones habitées, cœur de village, chemins de randonnée, etc. Ils ont été déterminés grâce à un travail cartographique et des visites sur le terrain.

Ils font ensuite l'objet de photomontage aux différentes phases de vie du projet.

Cette évaluation permet d'analyser les mécanismes et les facteurs de transformation des espaces qui vont accueillir le projet global Cigéo. Des 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.

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 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).

Les impacts résiduels ont ensuite été définis en prenant en compte des mesures d'insertion.

14.2 Patrimoine culturel

14.2.1 État actuel 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 (151) ;
- 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[28] ;
- 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.

14.2.1.2 Sites patrimoniaux remarquables, les monuments historiques et sur les sites inscrits/sites 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 Plan Locaux d'Urbanisme ont également été consultés pour recenser le petit patrimoine.

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 périmètre de protection qui les entourent pour ces derniers,
- des co-visibilités entre les opérations du projet et les monuments historiques et les sites classés/sites inscrits.

[28] Source : https://www.inrap.fr/pactols-sujet/base-de-donnees

14.3 Activités de loisir et tourisme

14.3.1 Recensement des activités de loisir et tourisme (état actuel)

14.3.1.1 Activités de plein air

Les données relatives aux chemins de randonnées 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 chemin de grande randonnées mongr.fr .

14.3.1.2 Établissement 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 transmise par les DDT pour les départements de la Meuse et de la Haute-Marne.

14.3.2 Évaluation des incidences sur les activités de loisirs et de 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'activité de loisirs telles que les chemins de randonnée.

15

Planification territoriale - Méthodes

15.1 État actuel de la planification territoriale et de l'aménagement du territoire 162
15.2 Incidence du projet sur l'aménagement du territoire 162

L'analyse de l'aménagement du territoire est réalisée en considérant différentes aires d'étude :

- l'aire d'étude immédiate comprend l'ensemble des territoires administratifs des communes directement traversées par la zone de 500 mètres autour des opérations du projet global.

  Elle 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.
- l'aire d'étude rapprochée couvre les périmètres des documents de planification supra-communaux des communes recoupées par l'aire d'étude immédiate, ainsi que les trois sources d'eau et zones de variantes pour le choix de la localisation des réseaux d'eau de l'opération d'adduction en eau potable. Il s'agit des SCoT suivants : SCoT du pays Barrois, SCoT Nord/Haute-Marne et SCoT de Commercy.

  Ce choix 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, etc.).
- l'aire d'étude éloignée correspond à la région Grand Est régie par le Schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) du Grand Est. 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.

15.1 État actuel 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). Ces documents ont été obtenus auprès des Directions Départementales des Territoires (DDT) de la Meuse, de la Haute-Marne et des Vosges.

Les différents documents de planification territoriale et d'urbanisme pris en compte sont les suivants :

- documents applicables : le SRADDET Grand Est, le SCoT du Pays Barrois, le PLUi de la Haute-Saulx, les PLU de Gondrecourt-le Château, Tréveray, Givrauval, Ligny-en-Barrois, Tronville-en-Barrois et 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, le SCoT de Commercy-Void – Vaucouleurs, le PLUi Porte de Meuse - secteur Val d'Ornois, le PLUi de la Communauté de communes du Bassin de Joinville en Champagne, le PLU de Saudron et le PLU de Velaines.

15.2 Incidence du projet sur l'aménagement du territoire

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 (152). L'analyse est menée en deux parties :

- une première partie dédiée à l'effet des infrastructures de transport sur le développement induit 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 (cf. Chapitre 6.2 du présent document) ;
- 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 effets cumulés - Méthodes

16.1 Méthode pour la caractérisation des interactions et les services écosystémiques 164
16.2 Méthode pour l'évaluation des effets cumulés avec d'autres projets connus 171

16.1 Méthode pour la caractérisation des interactions et les services écosystémiques

16.1.1 Caractérisation des interactions et des services écosystémiques

16.1.1.1 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 une autre ou d'autres composantes, soit de manière directe, soit indirectement par effet cascade.

Dans ce contexte, les approches intégrées, souvent interdisciplinaires tendent à se développer et s'inscrivent dans un contexte de complémentarité, de dialogue et d'échange, nécessaire à la compréhension d'objets et de systèmes complexes.

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 en effet 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 spécificités d'Occupation des Sols), des processus écologiques au sein de l'écosystème et entres les écosystèmes et de son utilisation par des pratiques sociales.

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 paragraphes suivants visent donc à décrire la méthodologie adoptée pour à la fois caractériser les interrelations entre milieux existantes sur le territoire de Cigéo, les services écosystémiques rendus par ces milieux mais aussi les incidences du projet sur les ces interrelations et services écosystémiques.

16.1.1.2 Caractérisation des interactions entre les milieux physique, naturel et humain

Les principales interactions/interrelations au sein des différentes composantes environnementales du territoire Cigéo se font à partir de trois types d'informations principales :

1. 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.
2. Des informations relatives à l'état actuel de l'environnement publiées dans le volume III de cette étude d'impact.
3. Dans une moindre mesure, à partir des connaissances expertes des ingénieurs de l'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 caractérisées, 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. Les interrelations entre les milieux peuvent ensuite pour la plupart être catégorisées dans le cadre du concept de service écosystémique.

16.1.1.3 Caractérisation des services écosystémiques

L'objectif est ici de définir la capacité initiale des écosystèmes présents au sein du territoire autour du projet global Cigéo à fournir de potentiels services écosystémiques. Ce travail a été réalisé en quatre étapes :

1. 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 dépendent des spécificités du dit territoire ;
2. Caractérisation de la typologie des différents écosystèmes présents sur les aires étude et quantification de leurs superficies respectives ;
3. Identification des services écosystémiques potentiels associés à chaque type d'écosystème à partir de la bibliographie ;
4. détermination de la capacité des écosystèmes à fournir des services écosystémiques.

a) Sélection des aires d'étude

L'état initial des services écosystémiques a été évalué 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.

b) 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

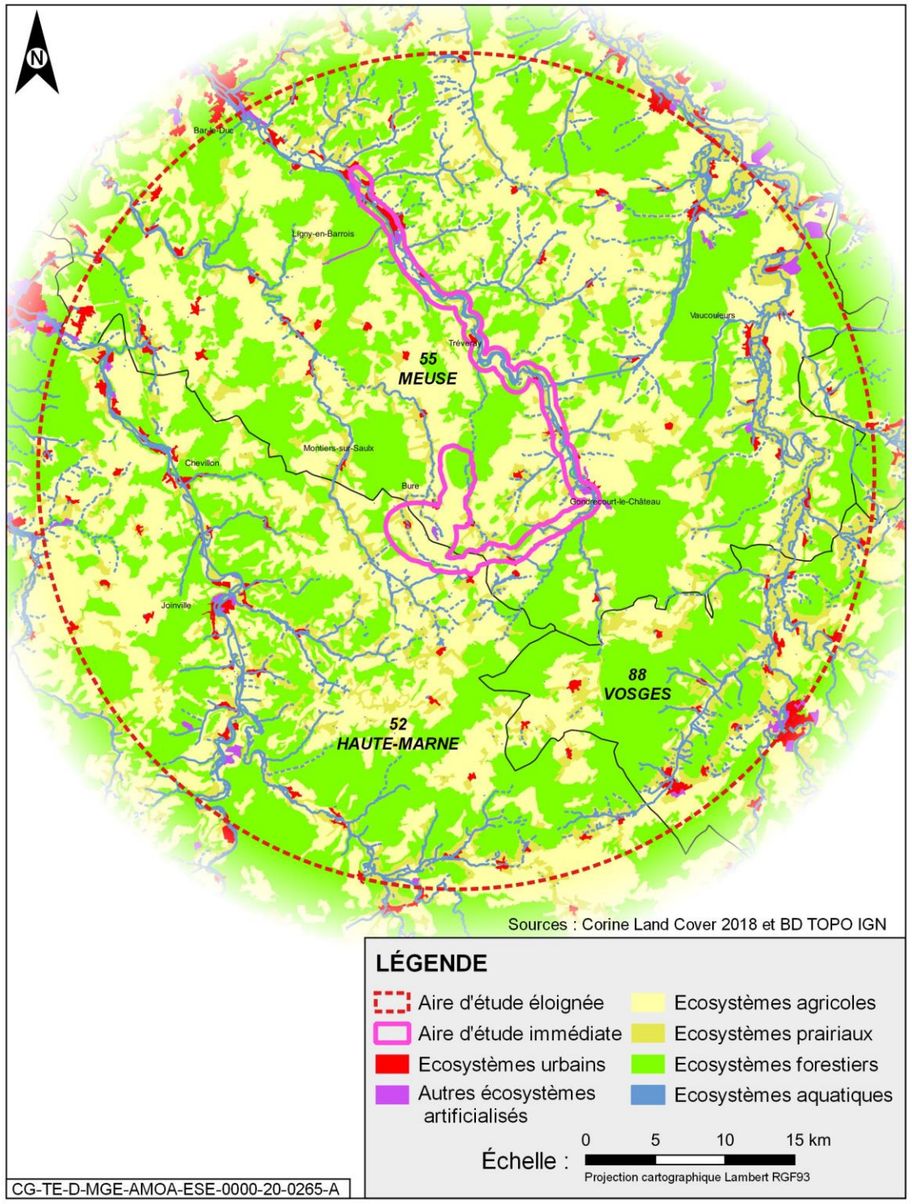


Figure 16-1 *Les principaux écosystèmes présents dans les aires d'étude éloignées et immédiates autour de Cigéo (source : Corine Land Cover 2018 et BD Topo IGN).*

Une typologie d'occupation des sols (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, sauf pour les écosystèmes aquatiques et humides, sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 16-1 *Typologie des écosystèmes naturels/artificiels présents sur l'aire d'étude régionale*

Écosystèmes	Source	Code CLC	Libellé CLC
Écosystèmes urbains	CLC 2018	111	Tissu urbain continu
	CLC 2018	112	Tissu urbain discontinu
Autres Écosystèmes artificialisés	CLC 2018	121	Zones industrielles et commerciales
	CLC2018	122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
	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

c) Identification des services écosystémiques sur les aires d'étude

Cette étape consiste à lister les différents services rendus par les écosystèmes présentés dans le tableau 1 en se basant sur :

- une première liste de services écosystémiques (SE) pertinents sur l'aire d'étude éloignée élaborée à partir d'une analyse bibliographique, en particulier sur les typologies de services écosystémiques réalisées dans le cadre des projets internationaux (MAES, CICES) et nationaux (EFESE). La lecture des principales revues européennes sur les services écosystémiques fait état de l'existence d'une centaine de services écosystémiques tous milieux confondus, 43 à l'échelle nationale. Les SE inféodés aux écosystèmes marins, littoraux et montagnards, de toute évidence non pertinents pour l'aire d'étude éloignée Cigéo, ont été de facto exclus de la liste des SE à considérer. En confrontant ces lectures bibliographiques et les connaissances du territoire Cigéo, une première étape de sélection permet d'aboutir à une liste de 25 services écosystémiques potentiels. La démarche repose principalement sur des connaissances dite expertes et en particulier sur la familiarité des ingénieurs de l'Andra avec les milieux physiques, naturels et humains du territoire situés autour du projet global Cigéo.
- à partir de cette première pré-sélection, la confirmation des choix de SE est confrontée aux écosystèmes naturels/artificiels identifiés dans le tableau 1. En d'autres termes, il s'agit de s'assurer que les écosystèmes de l'aire d'étude éloignée sont en mesure de fournir les SE identifiés comme pertinents dans la liste initiale. Pour ce faire, cette capacité du territoire à présenter des SE a été évaluée en réalisant une matrice de service (cf. Tableau 1). Cette dernière permet ainsi à la fois de sélectionner uniquement les types d'occupation du sol présents sur le territoire, mais aussi de restreindre le choix des services écosystémiques aux seuls services associés à ces types d'occupation. Cette matrice est construite en intégrant, en colonnes, les 25 services écosystémiques identifiés et, en lignes, les 6 écosystèmes identifiés comme présents sur l'aire d'étude éloignée. Aux intersections des lignes et colonnes, la case est grisée lorsque l'on considère que l'écosystème est en mesure de rendre le service.

Le lien entre le type d'écosystème et les services écosystémiques est détaillé dans le tableau 16-2. Une définition de chacun des services est disponible dans le tableau 16-3.

La confrontation des 25 services écosystémiques identifiés et des écosystèmes présents dans l'aire d'étude éloignée montre que chacun des SE est fourni par au moins un des écosystèmes, souvent plusieurs. Il s'agit dès lors et à partir de cette liste, d'évaluer ces services.

d) Évaluation des services écosystémiques autour du projet global Cigéo

Évaluer les services écosystémiques consiste à décrire l'état de la biodiversité et des écosystèmes et à construire leurs valeurs économiques et sociales (EFESE, 2017 (153)). En donnant une valeur aux services rendus par les écosystèmes, il est dès lors possible de les hiérarchiser puis de les intégrer au sein de processus de décision, notamment d'aménagement du territoire. Intégrer les services écosystémiques dans les politiques publiques (ici d'aménagement ou des choix stratégiques du projet global Cigéo) permet d'assurer un équilibre entre les attentes sociales (conservation environnementale, maintien de pratiques…) et les pressions exercées par l'implantation du projet.

À l'échelle d'un territoire, la prise en compte des services dans la planification et la gestion des espaces naturels ou urbanisés nécessite l'utilisation de données spatialement explicites et suppose très souvent la réalisation d'un exercice de modélisation et de cartographie.

Il existe une grande diversité de méthodes pour modéliser les SE avec des niveaux de complexité très variables. L'approche la plus simple consiste à utiliser uniquement des données d'occupation des sols comme indicateur spatial des SE (Costanza, 2016 (154)). Cette méthode de modélisation repose sur l'hypothèse que l'occupation des sols est le facteur déterminant majeur de la fourniture de SE. Ces modèles communément appelés « proxy models » reposent simplement sur l'association d'une valeur de SE à chaque classe d'occupation/utilisation du sol. Ces modèles sont actuellement les plus employés pour cartographier les SE. 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 SE donné.

Démarche générale

L'évaluation des services écosystémiques qu'elle soit par des proxys ou des modèles plus complexes requiert de sélectionner des indicateurs pertinents, quantifiant la contribution des écosystèmes au bien-être humain dans un contexte socio-économique donné.

Un indicateur est ici considéré comme un élément quantitatif permettant la mesure du niveau ou de l'évolution du phénomène/objet observé. Ce dernier est construit soit à partir de données uniques (données d'occupation du sol, etc.), soit d'un ensemble de données associées/assemblées/intégrées. À titre d'exemple, la donnée « superficie de forêt » peut être utilisée comme indicateur unique simplifié du service de régulation du climat global tandis que 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 ».

Les données utilisées pour quantifier les indicateurs des services peuvent être, selon les cas, quantitatives ou qualitatives. Ces indicateurs peuvent être issus :

- de données d'occupation du sol décrivant la présence/absence des types d'écosystèmes dont on sait qu'ils sont à l'origine de la fourniture d'un service ou plusieurs services écosystémiques. En d'autres termes, l'occupation du sol est ici considérée comme un proxy (au sens d'une donnée qui en remplace une autre) du service écosystémique ;
- de données quantitatives issues de mesures de terrain ou de modèles qui visent à quantifier le niveau d'expression des services écosystémiques en termes biophysiques.

Le type de données disponibles, associé à la complexité de leur mise en œuvre, en particulier lorsqu'elles sont quantitatives et intégrées contraint souvent à recourir à des indicateurs uniques de type proxy. Ils ont certes le défaut d'engendrer des incertitudes sur la pertinence de l'évaluation mais ont le mérite d'être relativement simple à mettre en œuvre. Cette logique appelle ainsi à l'utilisation d'indicateur proxy de type occupation du sol. Cette évaluation des services écosystémiques doit ici être vu comme une première approximation de l'état des services écosystémiques sur le territoire. Il s'agit davantage d'évaluer les enjeux liés aux différents services écosystémiques que les services stricto sensu. La vision présentée sera amenée à évoluer au fur et à mesure de l'avancée des connaissances.

Tableau 16-2 Matrice des services écosystémiques de l'aire d'étude éloignée. CLC : Corine Land Cover

Écosystèmes	Code CLC niveau 3	Libellé CLC niveau 3	Services d'approvisionnement					Services socio-culturels				
								Avec prélèvements			Sans prélèvements	
			Production de cultures et de fourrages	Production de biens animaux	Production de bois	Quantité d'eau disponible pour l'homme	Productions végétales domestiques	Chasse	Cueillette	Pêche	Patrimoine « naturel »	Patrimoine culturel
Écosystèmes urbains	111	Tissu urbain continu										
	112	Tissu urbain discontinu										
Autres Écosystèmes artificialisés	121	Zones industrielles et commerciales										
	122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés										
	131	Extraction de matériaux										
	141	Espaces verts urbains										
	142	Équipements sportifs et de loisirs										
Terres cultivées (dont habitats semi-naturels)	211	Terres arables hors périmètres d'irrigation										
	222	Vergers et petits fruits										
	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes										
	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants										
Prairies	231	Prairies										
Écosystèmes forestiers	311	Forêt s de feuillus										
	312	Forêts de conifères										
	313	Forêt s mélangées										
	322	Landes et broussailles										
	324	Forêt et végétation arbustive en mutation										
Écosystèmes aquatiques et humides	BD TOPO IGN Andra	Cours et voies d'eau										
		Plans d'eau										

Écosystèmes	Code CLC niveau 3	Libellé CLC niveau 3	Services d'approvisionnement					Services socio-culturels				
								Avec prélèvements			Sans prélèvements	
			Production de cultures et de fourrages	Production de biens animaux	Production de bois	Quantité d'eau disponible pour l'homme	Productions végétales domestiques	Chasse	Cueillette	Pêche	Patrimoine « naturel »	Patrimoine culturel
		Zones humides										

Les cases grisées indiquent que l'écosystème sont en mesure de fournir le service écosystémique considéré. (Noter l'absence totale de services de régulation associés à la catégorie « autres écosystèmes artificialisés » en grande partie due à leurs très faibles superficies sur l'aire d'étude (environ 0.5 km²)

Tableau 16-3 Matrice des services écosystémiques de l'aire d'étude éloignée. CLC : Corine Land Cover

Écosystèmes	Code CLC niveau 3	Libellé CLC niveau 3	Services de régulation														
			Régulation du climat global	Régulation du climat local	Régulation de la qualité de l'air	Régulation de la qualité de l'eau	Régulation de la qualité des sols	Régulation de la fertilité des sols	Régulation des crues et du débit d'étiage	Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion	Formation des sols	Résilience face à des évènements climatiques extrêmes	Maintien de la diversité biologique	Pollinisation des espèces cultivées	Régulation des bioagresseurs	Régulation des graines d'adventices	Régulation des nuisances humaines
Écosystèmes urbains	111	Tissu urbain continu															
	112	Tissu urbain discontinu															
Autres Écosystèmes artificialisés	121	Zones industrielles et commerciales															
	122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés															
	131	Extraction de matériaux															
	141	Espaces verts urbains															
	142	Équipements sportifs et de loisirs															
Terres cultivées (dont habitats semi-naturels)	211	Terres arables hors périmètres d'irrigation															
	222	Vergers et petits fruits															
	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes															
	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants															
Prairies	231	Prairies															

Écosystèmes	Code CLC niveau 3	Libellé CLC niveau 3	Services de régulation														
			Régulation du climat global	Régulation du climat local	Régulation de la qualité de l'air	Régulation de la qualité de l'eau	Régulation de la qualité des sols	Régulation de la fertilité des sols	Régulation des crues et du débit d'étiage	Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion	Formation des sols	Résilience face à des évènements climatiques extrêmes	Maintien de la diversité biologique	Pollinisation des espèces cultivées	Régulation des bioagresseurs	Régulation des graines d'adventices	Régulation des nuisances humaines
Écosystèmes forestiers	311	Forêt s de feuillus															
	312	Forêts de conifères															
	313	Forêt s mélangées															
	322	Landes et broussailles															
	324	Forêt et végétation arbustive en mutation															
Écosystèmes aquatiques et humides	BD TOPO IGN	Cours et voies d'eau															
		Plans d'eau															
	Andra	Zones humides															

Les cases grisées indiquent que l'écosystème sont en mesure de fournir le service écosystémique considéré. (Noter l'absence totale de services de régulation associés à la catégorie « autres écosystèmes artificialisés » en grande partie due à leurs très faibles superficies sur l'aire d'étude (0,5 km²)

Choix des indicateurs et évaluation des liés aux services écosystémiques

La démarche générale présentée appelle à évaluer les services de façon simple en se fondant sur l'utilisation d'indicateurs de type proxy issus des cartes d'occupation ou d'utilisation des sols. Les services écosystémiques ne sont pas quantifiés, ni monétarisés. De ce fait, afin de procéder à l'évaluation des services écosystémiques, une évaluation des superficies de chacune des occupations du sol à l'origine des différents services est calculée.

Ainsi, la surface relative d'un milieu à l'origine de la production d'un service écosystémique est donc égale à la somme des surfaces des écosystèmes à l'origine de ce service.

Les superficies des différents types d'occupation du sol, selon les catégories définies dans le tableau 2, ont été calculées par traitement SIG du Corinne Land Cover 2018.

16.1.2 Incidences sur les interactions et les services écosystémiques

16.1.2.1 Démarche générale

La démarche générale de l'analyse des incidences du projet global Cigéo sur les interrelations et les services écosystémiques est fondée sur l'évaluation de toutes les incidences du projet global Cigéo présentées dans les différents chapitres du volume IV de l'étude d'impact. Globalement, il s'agit de relever, pour chacune des composantes de chacun des milieux, les incidences du projet puis de les transposer aux interrelations entre milieux et services écosystémiques.

Ainsi et à partir de l'évaluation des incidences directes résiduelles (après réduction/évitement et avant compensation) du projet, la démarche se base sur la logique suivante : un impact direct sur un milieu peut entrainer un ou des impacts indirects sur d'autres milieux. Lorsqu'un milieu est indirectement impacté, les interrelations au sein du ou des milieux et entre les milieux le sont aussi. Par voie de conséquence, cela affecte également les services écosystémiques liés au(x) milieu(x).

16.1.2.2 Évaluation qualitative et hiérarchisation des incidences

Il s'agit de relever dans le volume IV de l'EI tous les impacts directs « notables » évalués pour chacun des milieux, c'est à dire qualifiés de modérés à forts. Ensuite, et à dire d'expert, la ou les relations entre ces incidences directes sur les milieux et leurs conséquences indirectes, aussi appelées incidences indirectes, susceptibles de se manifester sur les interrelations sont caractérisées. Par ailleurs, les incidences directes faibles et très faibles sont exclues en partant du principe qu'en général une incidence directe faible/très faible entraine une incidence indirecte faible/très faible. Les incidences directes faibles ou très faibles peuvent néanmoins être considérés si par un effet de cumul, elles sont susceptibles engendrées des incidences indirectes notables. Cela permet par conséquent de hiérarchiser les incidences indirectes et de ne conserver dans l'analyse que les interrelations et services écosystémiques notablement impactés. Cette approche est strictement qualitative.

16.1.2.3 Évaluation quantitative

Dans cette seconde étape, les interrelations et services écosystémiques notablement impactés sont évalués quantitativement. Sur une démarche identique à celle développée pour l'évaluation des services écosystémiques, la quantification des impacts repose sur l'utilisation des superficies des écosystèmes. Il est considéré que la réduction relative de la superficie d'un type d'occupation du sol responsable de la présence d'un service et qui résulte d'un impact direct conduit à réduire la capacité de cette occupation du sol à fournir le service. En d'autres termes, si une occupation du sol spécifique (par exemple les écosystèmes agricoles) de 100 ha a la capacité de fournir un service (par exemple la production agricole), sa réduction à 50 ha réduit la capacité de fournir le service de moitié (en partant du principe que le service est fourni uniformément sur la superficie). Toutefois, l'évaluation à partir des superficies des écosystèmes n'est pas possible pour tous les services ou n'a que peu de sens (par exemple, le maintien de la diversité biologique, la pêche, etc...). Dans ces cas-là, les incidences ne sont pas quantifiées ou sont simplement estimées à dire d'expert.

À cette évaluation quantitative des surfaces impactées peut s'ajouter, lorsque les données sont disponibles dans le volume traitant de l'état actuel des milieux, d'autres données quantitatives visant à affiner l'information sur les incidences du projet. Par exemple, pour les écosystèmes agricoles dont la surface est impactée par de l'artificialisation et qui, à ce titre, en réduise la capacité à fournir le service de production agricole, cette information de perte du service de production peut être complété par le calcul des assolements et des rendements moyens disponibles dont les données sont disponibles dans l'étude préalable agricole.

Tableau 16-4 Intitulé, définition et type de chacun des 25 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 d'un territoire à réguler la température ressentie	Régulation
Régulation de la qualité de l'air	Capacité d'un territoire à atténuer naturellement les flux de polluants atmosphériques	Régulation
Régulation de la qualité de l'eau	Capacité d'un territoire à atténuer naturellement les flux de polluants dans les masses d'eau	Régulation
Régulation de la qualité des sols	Capacité d'un territoire à atténuer naturellement les flux de polluants dans les sols	Régulation
Régulation de la fertilité des sols	Capacité des sols d'un territoire à fournir des nutriments et de l'eau nécessaires à la croissance des plantes	Régulation
Régulation des crues et du débit d'étiage	Capacité d'un territoire à réguler les niveaux d'eau et les débits dans les cours d'eau	Régulation
Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion	Capacité d'un territoire à contrôler la perte de formations superficielles (contrôle des aléas naturels)	Régulation
Formation des sols	Capacité d'un territoire 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 des écosystèmes d'un territoire à résister ou à se régénérer suite à des catastrophes naturelles (tempêtes, sécheresse, inondation...)	Régulation
Maintien de la diversité biologique	Capacité du territoire à fournir des habitats susceptibles d'accueillir une diversité spécifique et génétique riche et variée	Régulation
Pollinisation des espèces végétales	Capacité des écosystèmes d'un territoire à fournir des conditions propices à la présence de pollinisateurs	Régulation
Régulation des bioagresseurs	Capacité des écosystèmes d'un territoire à fournir des conditions permettant d'autoréguler la prolifération des maladies végétales	Régulation
Régulation des adventices	Capacité des écosystèmes d'un territoire à autoréguler la prolifération des adventices des cultures (« mauvaises herbes »)	Régulation
Régulation des nuisances humaines (bruit, odeur, visuel)	Capacité des écosystèmes d'un territoire à constituer des barrières, principalement physiques, vis-à-vis des nuisances auditives, olfactives et visuelles	Régulation

Intitulé du service écosystémique	Définition du service écosystémique	Type
Production de cultures et de fourrages	Capacité d'un territoire à fournir tous types de productions agricoles végétales	Approvisionnement
Production de biens animaux	Capacité d'un territoire à fournir tous types de productions agricoles animales	Approvisionnement
Production de bois	Capacité d'un territoire à fournir du bois aux différents débouchés de la filière sylvicole (Ressource forestière)	Approvisionnement
Quantité d'eau disponible pour l'Homme	Capacité d'un territoire à fournir de l'eau à usage domestique, industriel et agricole	Approvisionnement
Productions végétales domestiques	Capacité des jardins, potagers et vergers d'un territoire à produire des denrées alimentaires	Approvisionnement
Chasse	Capacité d'un territoire à fournir un cadre pour la pratique de la chasse	Socio-culturel
Cueillette	Capacité d'un territoire à fournir un cadre pour la pratique de la cueillette (champignons, fruits, flore...)	Socio- culturel
Pêche	Capacité d'un territoire à fournir un cadre pour la pratique de la pêche	Socio- culturel
Patrimoine naturel	Capacité d'un territoire à fournir un cadre naturel attractif pour la pratique d'activités extérieures sans prélèvements	Socio- culturel
Patrimoine culturel	Capacité d'un territoire à fournir un cadre culturel pour la pratique d'activités extérieures sans prélèvements	Socio- culturel

16.2 Méthode pour l'évaluation des effets cumulés avec d'autres projets connus

16.2.1 Réglementation

Ce chapitre répond à l'objectif fixé à l'article R. 122-5, 4 du code de l'environnement, qui prévoit que l'étude d'impact analyse les effets cumulés potentiels du projet avec d'éventuels autres projets environnants. Ces derniers doivent avoir fait l'objet :

- d'un document d'incidences au titre de l'art R. 181-14 et d'une enquête publique ;
- d'une évaluation environnementale au titre du code de l'environnement et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

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, sont exclus.

16.2.2 Notion d'effet cumulé

La notion d'effets cumulés se réfère à la possibilité que les impacts temporaires ou permanents occasionnés par le projet global Cigéo et d'autres projets en cours rentrent en interaction.

Cette notion « d'effets cumulés » recouvre l'addition, dans le temps ou dans l'espace, d'effets directs ou indirects issus d'au moins deux projets. Ce cumul découle d'impacts négligeables/faibles qui, collectivement, cumulés dans le temps ou dans l'espace, ou cumulés aux problèmes environnementaux déjà existants, peuvent devenir notables. Au-delà de « l'effet d'addition », le cumul des impacts peut engendrer des effets de décuplement des incidences toutefois difficile à caractériser.

Cette notion complexe nécessite une approche globale des incidences sur l'environnement : approche territoriale, approche temporelle, approche par facteur de l'environnement impacté.

16.2.3 Justification des projets analysés

Le recensement des projets pour l'étude des effets cumulés avec le projet global Cigéo se fera en 3 étapes décrites ci-dessous :

1. Recensement des projets à l'échelle des 6 départements concernés par l'aire d'étude la plus large définie pour l'étude des effets potentiels engendrés par les opérations du projet global Cigéo ;
2. Étude des intersections entre les aires d'étude des études d'impact du projet global Cigéo et des projets recensés à l'étape 1 ;
3. Étude des superpositions de temporalité.

Les projets retenus seront ceux présentant des interactions avec le projet global Cigéo dans le temps et dans l'espace.

16.2.3.1 Recensement large des projets

Un premier travail de recherches a été effectué afin de recenser l'ensemble des projets dans les départements de la Meuse, de la Haute-Marne, des Vosges, de la Meurthe-et-Moselle, de l'Aube et de la Marne.

Les ressources utilisées pour le recensement de ces études sont les suivantes :

- échanges avec les DDT, préfets de Meuse et de Haute-Marne et de la mission Cigéo ;
- consultation des sites des administrations (DREAL, Préfectures, CGEDD, Ministère de la Transition écologique et solidaire).

16.2.3.2 Critère aire d'étude

L'ensemble des projets recensés n'est toutefois pas retenu pour l'analyse des effets cumulés avec le projet global Cigéo. La **prise en compte des aires d'étude** pour chaque facteur de l'environnement permet d'éliminer les projets les plus éloignés du projet global Cigéo.

En effet, comme indiqués dans le chapitre 1.2 de ce présent volume, chaque facteur de l'environnement a été étudié dans une « aire d'étude » définies conformément au code de l'environnement comme *les zones 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 termes*.

Comme schématisé sur la figure suivante, les zones d'intersection entre les aires d'étude définies pour le projet global Cigéo et les aires d'étude des projets recensés dans les départements cités précédemment sont des zones où les interactions potentielles des effets peuvent être observées.

Aussi, ne seront retenus dans l'analyse des effets cumulés que les projets qui verront leurs aires d'étude interceptées celles du projet global Cigéo (cf. Figure ci-dessous).

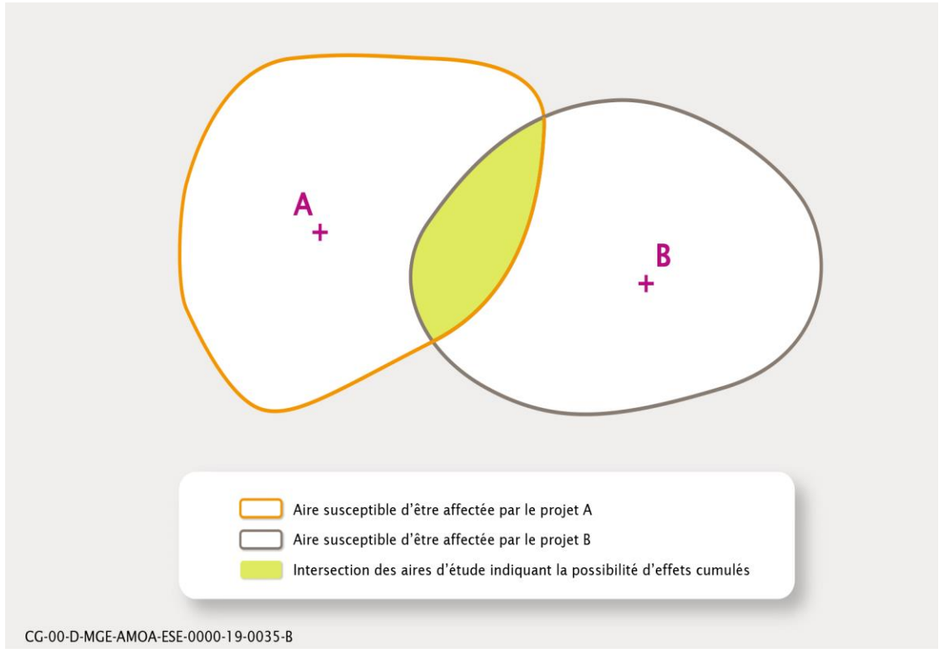


Figure 16-2 Schématisation du critères « aire d'étude » pour le choix des projets retenus pour l'étude des effets cumulés avec le projet global Cigéo

16.2.3.3 Critère temporalité

L'étude du cumul des impacts du projet global Cigéo et des autres projets retient le critère de « temporalité ».

Si la période d'effet d'un impact du projet global Cigéo coïncide au-moins partiellement avec celle de l'effet d'un impact d'un projet retenu (critère aire d'étude), le cumul des effets est analysé.

16.2.4 Analyse des potentielles incidences cumulées

L'analyse des potentielles incidences cumulés ne porte que sur les projets retenus du fait de leur concomitance avec le projet global Cigéo et de l'intersection des zones susceptibles d'être impactée par chacun des projets.

Partant du postulat que des projets de même nature ont le même type d'incidence potentielle sur leur environnement, les projets sont triés selon leur nature. Ainsi, l'analyse des incidences potentielle est organisée par groupe de projets de même nature. Pour chacun des groupes l'analyse suit le même protocole.

Dans un premier temps chacun des projets est décrit succinctement : la consistance du projet, sa localisation, ses emprises. Ensuite, les enjeux notables identifiés par l'Autorité environnementale (Ae) sont rappelés, ainsi que les principaux éléments d'état actuels. Les projets connus sont décrits sur la base de l'avis de l'Ae et de l'étude d'impact quand elle est disponible.

Toutes ces données permettent d'appréhender dans un deuxième temps, le contexte environnemental de chacun des projets et de proportionner pour chacun des facteurs de l'environnement l'analyse des potentielles incidences cumulées. Cette hiérarchisation est explicitée et argumentée.

Dans un troisième temps, les facteurs présentant des potentialités notables de cumul des incidences sont analysés en détails. Des cartes représentent les projets connus et leurs principaux enjeux ainsi que le projet global Cigéo. Pour chacun des facteurs à enjeu un tableau multicritère permet de comparer les incidences de chaque projet connus retenus avec le projet global Cigéo. Ce tableau se conclut sur les interactions entre le projet global Cigéo et chacun des projets connus retenus.

17

Santé - Méthodes

17.1 Méthodes d'évaluation des incidences radiologiques 174
17.2 Méthodes d'évaluation des incidences conventionnelles sur la santé humaine 192

17.1 Méthodes d'évaluation des incidences radiologiques

17.1.1 Élaboration de l'état radiologique actuel

17.1.1.1 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 d'armes nucléaires atmosphériques, 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.

L'aire d'étude associée à l'état actuel radiologique correspond à l'aire d'étude rapprochée du projet global (cf. Chapitre 1.2.2 du présent volume de l'étude d'impact). Cette aire d'étude se trouve dans une zone éloignée de toute activité nucléaire. Les installations nucléaires les plus proches sont le centre du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) de Valduc situé à 120 km au sud en Côte d'or), le Centre Nucléaire de Production d'Électricité) (CNPE) EDF (de Nogent-sur-Seine (situé à 150 km à l'ouest dans l'Aube), le CNPE de Cattenom (situé à 140 km au nord-nord-est dans le département de la Moselle). Le CNPE de Chooz est situé à 200 km au nord-nord-ouest dans le département des Ardennes et l'usine de retraitement de La Hague dans le département de la Manche est à près de 600 km à l'ouest de Bure. Les autres sites de stockage de l'Andra à Soulaines (centre de stockage de l'Aube, CSA) et Morvilliers (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage, Cires) sont plus proches à environ 50 km à l'ouest dans l'Aube. Leurs incidences en termes de présence d'éléments radioactifs artificiels dans l'environnement sont très faibles et nulles au-delà de quelques kilomètres.

Du fait d'une altitude modeste et d'une pluviométrie faible pendant les retombées de l'accident de Tchernobyl d'avril 1986, les dépôts radioactifs associés ont été modérés sur la région. Dans le cadre de son constat radiologique « rémanence de la radioactivité d'origine artificielle », l'IRSN a établi un état des lieux de la radioactivité artificielle en France qui persiste et explique son évolution dans le temps (155). Il indique qu'au sein des masses d'air contaminées par l'accident de Tchernobyl, les éléments radioactifs non gazeux ont été transportés sous la forme de particules, appelées aérosols. Au fil du temps, ils ont fini par retomber au sol sous forme de dépôts secs et, lorsqu'il pleuvait, de dépôts humides. L'importance de ces dépôts a été fonction des trajectoires des masses d'air contaminées, de la distance parcourue et de l'intensité des pluies. En dehors de la région de Tchernobyl, seul le 137Cs a conduit à une contamination durable des territoires. Cet isotope fait partie de ceux analysés dans l'environnement du projet global Cigéo.

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 17-1). Ils constituent le bruit de fond radiologique ambiant.

Tableau 17-1 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
		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)
	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 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 actuel de l'environnement du projet global Cigéo sont présentées dans le tableau 17-2 ci-après.

Tableau 17-2 Méthodes de mesure des éléments radioactifs de l'état actuel de l'environnement et matrices dans lesquelles ils sont recherchés

Éléments radioactifs	Méthodes d'analyse	Matrices
^{7}Be, ^{22}Na	Spectrométrie Gamma (méthode IAEA n°295)	Filtres atmosphériques, matrices biologiques
^{3}H	Scintillation liquide (Norme NF M60-802-1)	Air (piégeage dans l'eau du barboteur), eau de pluie, feuilles d'arbre, matrices aquatiques
^{14}C	Scintillation liquide (Norme NF M60 812-1)	Air (piégeage dans la soude du barboteur), feuilles d'arbre, matrices aquatiques
Autres émetteurs Gamma	Spectrométrie Gamma (NF M60-790-6)	Air (aérosols sur filtres), matrices biologiques, roches, matrices aquatiques
^{40}K	Spectrométrie Gamma ou mesure du potassium chimique	Matrice biologiques
^{232}Th et descendants ^{235}U et descendants ^{238}U, ^{234}U et descendants	Spectrométrie Alpha (normes NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2)	Aérosols (filtres)
	Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)	Matrices biologiques (céréales, légumes feuilles, herbe, lait), roches, matrices aquatiques, aérosols
	Spectrométrie de Masse à Thermo-Ionisation (TIMS)	Sols
Radon	Détecteur passif	Sols (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 (norme NF M 60-790-8)	Air (aérosols sur filtres), matrices biologiques (légumes feuilles, herbe, foie et os de sanglier), roches, matrices aquatiques
^{90}Sr	Scintillation liquide	Air (aérosols sur filtres), matrices biologiques (herbe, légumes feuilles, lait, fromage, os de sanglier), roches, matrices aquatiques
^{134}Cs, ^{137}Cs	Spectrométrie Gamma	Matrices biologiques

Les différents lieux de prélèvements des échantillons pour les mesures de la radioactivité sont représentés sur la figure 17-1 ci-après.

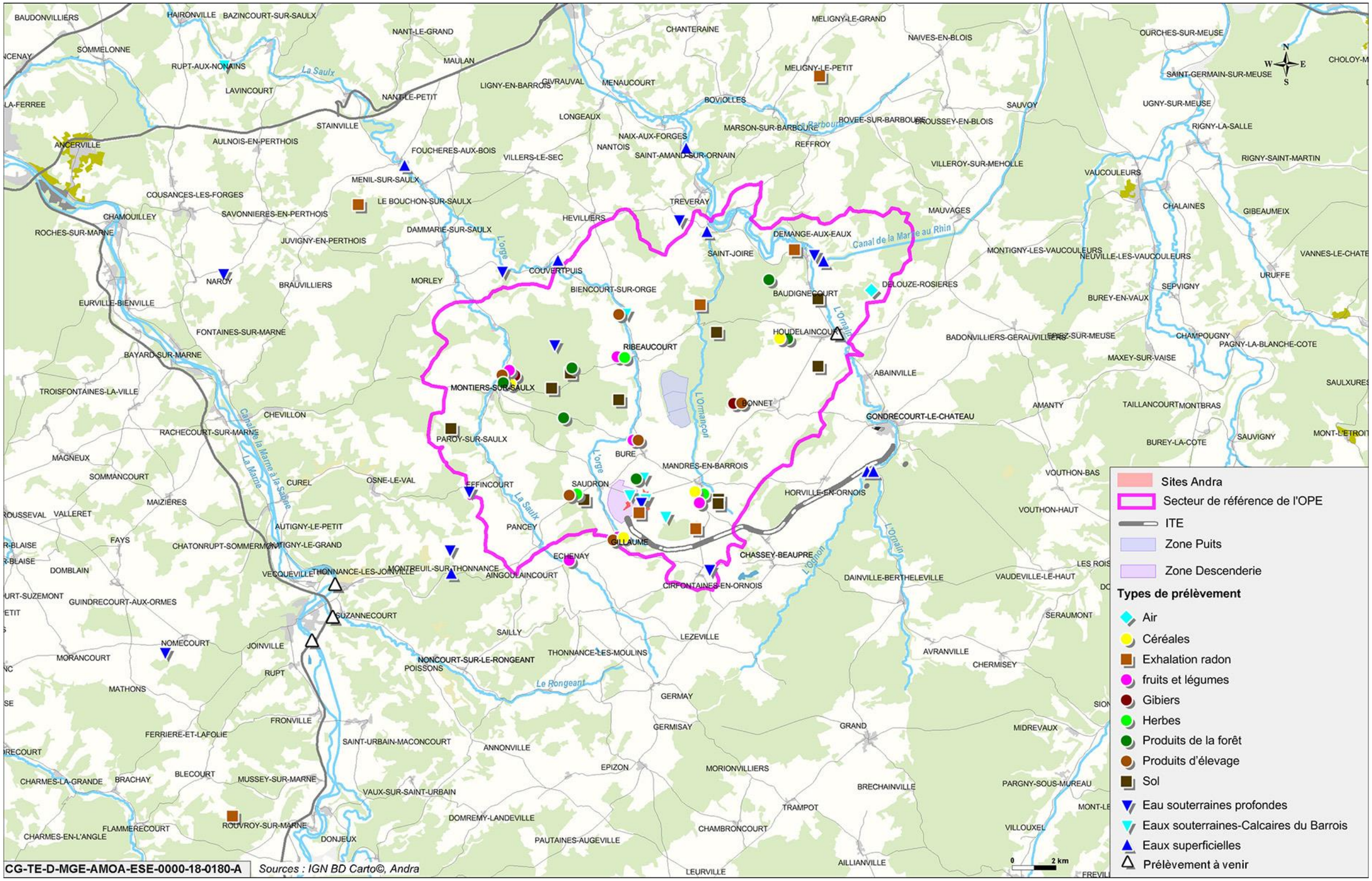


Figure 17-1 Localisation des points de prélèvement des échantillons pour les mesures de la radioactivité

17.1.1.2 Méthodes d'analyse des éléments radioactifs de l'état actuel 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 dans le cadre de la surveillance du Laboratoire souterrain et lors de la campagne sur les eaux superficielles), tous agréés.

a) Analyse des éléments radioactifs dans l'atmosphère

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).

- **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, $^{125}Sb^{90}Sr$, les $^{239+240}Pu$, l'^{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 pour de pouvoir mesurer les 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 (aérosols) recherchés sont ensuite estimés par spectrométrie gamma selon la méthode IAEA n° 295 (156) 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 3 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 des rayonnements gamma émis, à l'opposé de la technique utilisant un compteur Geiger qui lui ne détecte que la présence de rayonnement gamma sans pouvoir fournir une information sur la nature de la source détectée. 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 (157), 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 60 790 8 (158). 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 (159) et NF EN ISO17294-2 (160).

» SPECTROMÉTRIE DE MASSE À PLASMA À 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.

- **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 4 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 (161). L'activité du ^{14}C est rapportée au volume d'air échantillonné dans l'appareil.

- **Analyse du tritium**

  Le tritium atmosphérique est échantillonné par un barboteur muni de 4 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 (162) pour la méthode ALOKA. La radioactivité mesurée en tritium est rapportée au volume de la solution.

- **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.

- **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.

b) Analyse des éléments radioactifs dans le milieu aquatique

Compte tenu de l'implantation du centre de stockage Cigéo en profondeur, des analyses ont été menées dans les eaux superficielles et dans les eaux souterraines.

Eaux superficielles

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.

- **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).

- **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.

- **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.

Eaux souterraines des Calcaires du Barrois

Les trois forages destinés au prélèvement des eaux des Calcaires du Barrois (EST1011, EST1037[29] 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 17-1 du volume VII de la présente étude d'impact.

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

Plusieurs analyses sont réalisées : spectrométrie gamma longue durée selon la norme NF ISO 10703 (163) , mesure du tritium par scintillation liquide selon la norme NF ISO 9698 (162) et détermination de l'indice alpha global et de l'indice bêta global sur compteur proportionnel à gaz selon la norme ISO 10704 (164).

Eaux souterraines profondes

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.

c) Analyse des éléments radioactifs dans les sols

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 ^{40}K, ^{238}U 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 (5 sites en forêt, 3 sites en prairie et 2 sites en cultures, cf. Figure 17-1).

[29] 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.

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 (165).

d) Analyse des éléments radioactifs dans le sous-sol

Compte-tenu des différentes couches géologiques (marnes du Kimméridgien, de calcaires de l'Oxfordien et d'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 souterrain, ont également été étudiés.

Les éléments radioactifs naturels et artificiels ont été mesurés en spectrométrie gamma, béta et alpha. Les isotopes de l'uranium et du thorium, ainsi que de leurs descendants ont été également mesurés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS).

e) 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 17-3.

Tableau 17-3 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 17-4.

Tableau 17-4 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						

17.1.2 Évaluation des incidences liées aux émissions radiologiques

17.1.2.1 Démarche générale d'évaluation des incidences liées aux émissions radiologiques et du risque sanitaire associé

La démarche générale d'évaluation des incidences des émissions radiologiques et du risque sanitaire associé comporte plusieurs étapes (cf. Figure 17-2) :

- l'évaluation des émissions radioactives ;
- l'évaluation de la dispersion de ces émissions, appelées « rejets » lorsqu'elles sont canalisées, dans l'air ou dans l'eau ;
- la modélisation des transferts de éléments radioactifs dans l'environnement et la chaîne agro-alimentaire ;
- l'évaluation de l'exposition humaine, en tenant compte des différentes voies d'exposition ;
- La caractérisation du risque sanitaire, en comparant l'exposition humaine à des valeurs seuils.

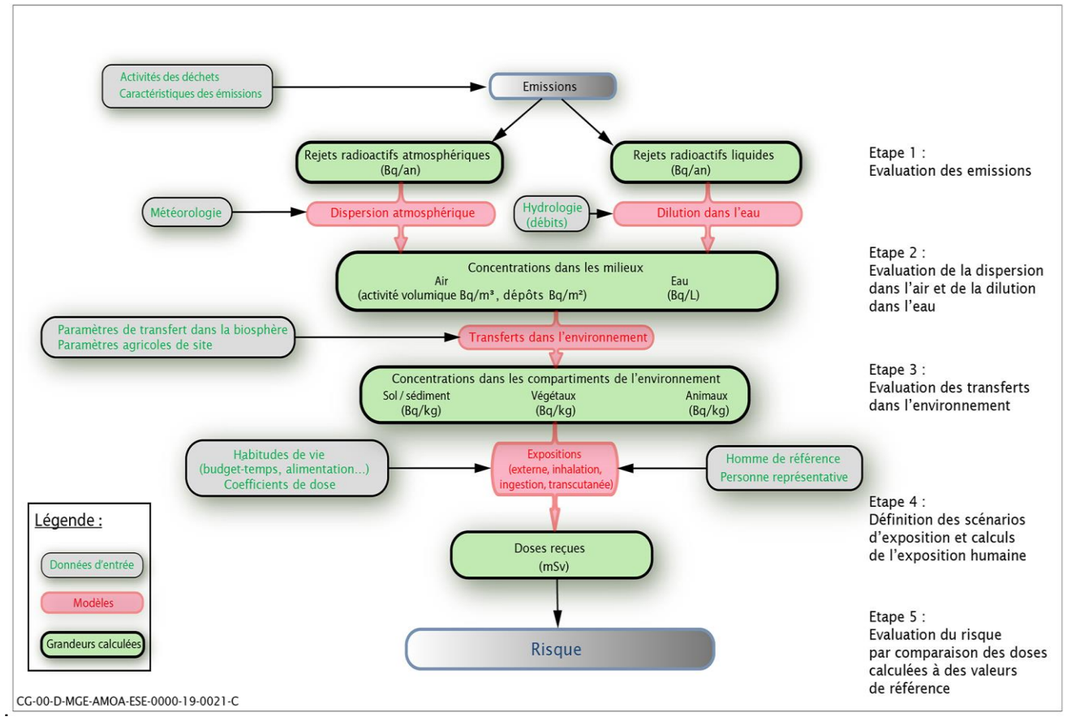


Figure 17-2 *Démarche générale d'évaluation des incidences radiologiques et du risque sanitaire associé*

L'évaluation des incidences liées à des rejets liquides radioactifs n'est pas détaillée compte tenu du fait que les dispositions de gestion des eaux du projet global Cigéo permettent d'éviter un rejet localement, et que l'installation de gestion des eaux issues des zones à production potentielle de déchets nucléaires n'est pas encore définie précisément (cf. Chapitre 2.7.4.5 du volume II de la présente étude d'impact).

17.1.2.2 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.

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.

Quantification des émissions gazeuses

La démarche d'évaluation des émissions gazeuses comprend 4 étapes (cf. Figure 17-3).

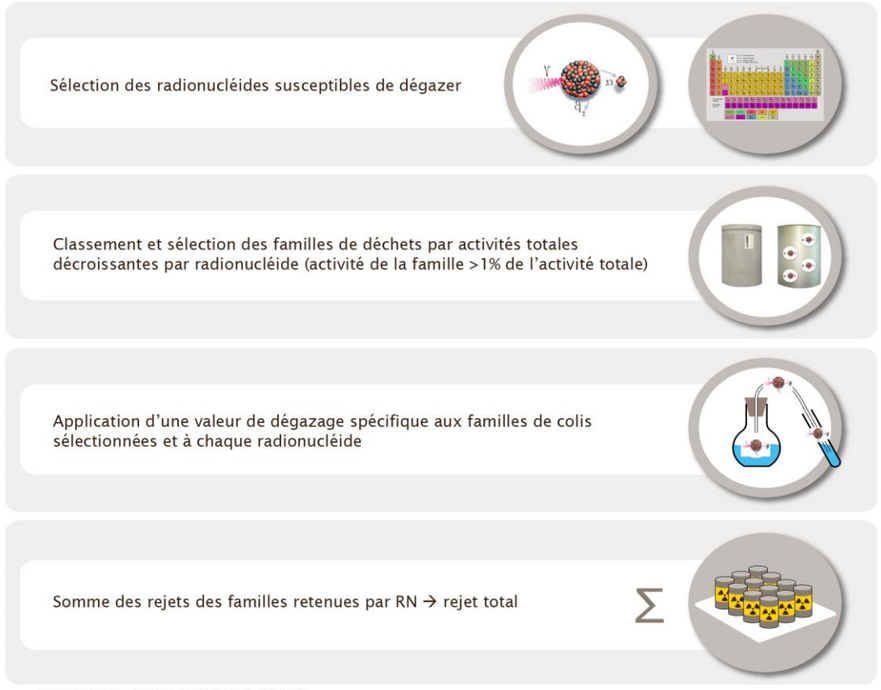


Figure 17-3 *Principes de calcul de l'estimation des rejets gazeux*

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 différents types de colis contribuant aux émissions gazeuses du centre de stockage Cigéo et leurs niveaux de radioactivité sont présentés dans le tableau 17-5 ci-dessous. 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 17-5 *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 17-6 ci-après.

Tableau 17-6 *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)	$3{,}90 \times 10^{-7}$	

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. Une fois placés dans leur conteneur de stockage, la remise en suspension de la contamination surfacique des colis primaires est fortement limitée (pas de circulation d'air à l'intérieur du conteneur).

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 ($A\alpha$ + $A\beta\gamma$) x F1 x F2] × Nombre de colis

Où :

- SextCts : surface externe du colis primaire ;
- $A\alpha$: activité surfacique des émetteurs alpha ;
- $A\beta\gamma$: 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 × 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.

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 17-7 ci-dessous.

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

Tableau 17-7 Rejets radioactifs annuels maximaux de l'installation nucléaire de surface

Cheminée de l'installation nucléaire de surface	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux
Tritium	de l'ordre de 3 GBq/an
^{14}C	de l'ordre de 3 GBq/an
^{85}Kr	de l'ordre de 50 GBq/an
Émetteurs beta	De l'ordre de 555 Bq/an
Émetteurs alpha	de l'ordre de 55 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 17-8 ci-dessous.

Tableau 17-8 Rejets radioactifs annuels maximaux de l'installation souterraine

Cheminée de l'installation souterraine	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux
Tritium	de l'ordre de 300 GBq/an
^{14}C	de l'ordre de 300 GBq/an
^{85}Kr	de l'ordre de 6 000 GBq/an
Émetteurs beta	de l'ordre de 300 000 Bq/an
Émetteurs alpha	de l'ordre de 30 000 Bq/an

17.1.2.3 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 paragraphes ci-dessous. L'annexe 9 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® (166) de la plateforme CERES® version 6.5.2 (Code d'Évaluations Rapides Environnementales et Sanitaires) (167), 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) (168) et par Pasquill-Turner (1964). Les écarts-types de Pasquill-Turner sont retenus pour les calculs de dispersion atmosphérique du centre de stockage Cigéo comme recommandé par l'AIEA (169).

Le module de calcul GASCON® de la plateforme CERES® (167) 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 17-9 ci-dessous.

Tableau 17-9 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 17-10 ci-dessous.

Tableau 17-10 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
Particules alpha	^{239}Pu	Particule	$5{,}00 \times 10^{-3}$	24 130

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 01 juin 2012 au 31 mai 2017. Cette période de 5 ans est conforme aux recommandations en la matière (170). Les résultats d'analyse statistique des données météorologiques sont présentés dans l'annexe 9 du présent volume 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° ($18 \times 20° = 360°$) 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.

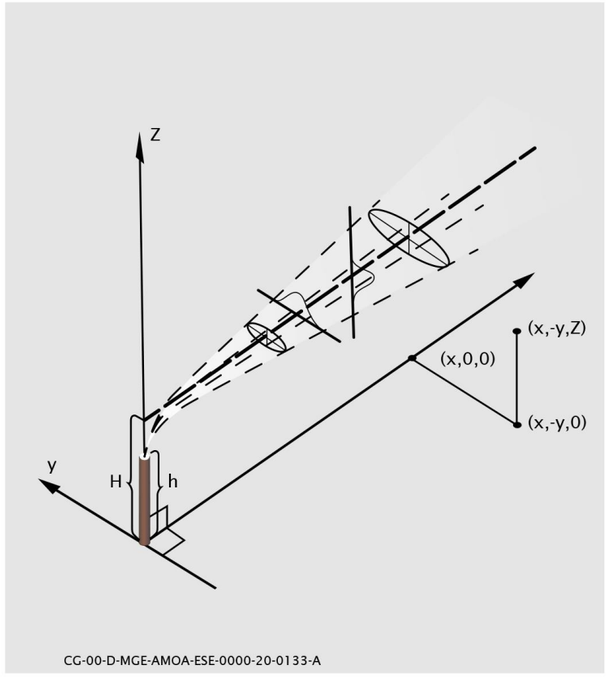
Pour toutes les simulations de dispersion atmosphérique, les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

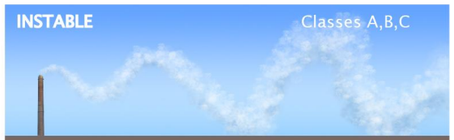
- une rugosité correspondant à une zone rurale (zones agricoles hétérogènes) ;
- un modèle de dispersion selon les écarts-types de Pasquill (modèle standard adapté pour les sites ruraux) ;
- une surélévation du panache liée à la vitesse d'éjection et à la température des fumées ;
- le calcul des dépôts 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 9 du présent document).

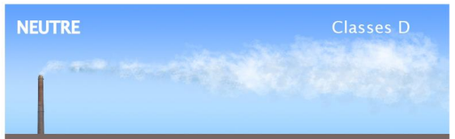
Les écarts types de distribution gaussienne des concentrations dans l'air dépendent de la classe de stabilité atmosphérique. À chaque classe de stabilité est associé un jeu de paramètres permettant de calculer les écarts-types (horizontal et vertical) caractérisant la distribution gaussienne du polluant 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 17-4).

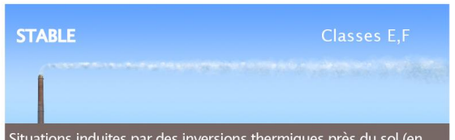




Situations induites par un fort réchauffement du sol qui entraine une élévation rapide des masses d'air depuis le sol accompagnée d'une descente d'air provenant de la couche supérieure. Ces situations se retrouvent principalement le jour (spécialement au lever du soleil) en absence de vent fort.



Situations de vents modérés ou de ciel couvert, les plus fréquentes en zone tempérée.



Situations induites par des inversions thermiques près du sol (en temps normal, la température diminue avec l'altitude, en cas d'inversion thermique, il existe une couche plus chaude en altitude qui limite la dispersion). Ces situations se retrouvent principalement la nuit par vent faible.

Figure 17-4 Représentation d'une bouffée gaussiennes 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 $Bq.m^{-2}.s^{-1}$.

c) 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 (171) pour la contamination des sols, des végétaux et des animaux (167).

- **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 s'enfonce et circule 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. Par contre, 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.

17.1.2.4 Méthode d'évaluation de l'exposition humaine

L'annexe 9 présente en détail les valeurs de paramètres entrées dans le module Gascon de la plateforme CERES, utilisé pour les calculs.

a) Populations exposées retenues

Pour l'évaluation de l'exposition humaine, le code de la santé publique recommande de considérer le groupe d'individus le plus particulièrement exposés à ladite « source ».

La population retenue pour l'étude des effets des rejets radioactifs atmosphériques du centre de stockage Cigéo sur l'homme sont, compte tenu de la nature et de la quantité des émissions, ainsi que des conditions météorologiques locales, celle qui se trouve être la plus proche : Bure, qui se trouve à proximité à la fois de la zone puits et de la zone descenderie. Compte tenu des effets de la dispersion atmosphérique, les populations plus éloignées seront moins exposées.

L'exposition aux émissions radioactives dépend des habitudes de vie des individus. Elle est calculée pour l'adulte (17 ans et plus), l'adolescent de 10 ans (représentatif de la tranche 6 ans à 15 ans) et l'enfant de 1 an à 2 ans. Par ailleurs, de façon pénalisante, on considère un taux de présence des individus sur le lieu d'exposition égal à 100 % et un air à l'intérieur des habitations identique (les mêmes caractéristiques radiologiques) que l'air extérieur.

Les consommations alimentaires des populations résidentes sont représentatives d'activités actuellement observées dans la région concernée du centre de stockage Cigéo. Ces populations, définies comme un groupe « multi-activités », représente le groupe de référence incluant l'ensemble des voies d'exposition liées à ses multiples activités. Les consommations alimentaires de ce groupe multi-activités proviennent d'une enquête locale réalisée en 2013 sur le territoire de Meuse-Haute-Marne (172). Sont prises en compte dans l'évaluation de l'exposition toutes les denrées alimentaires susceptibles d'être produites localement (le complément de la ration, non produit localement, n'est pas impacté par les émissions radioactives).

Les données de débit respiratoire ne sont pas dépendantes du site contrairement aux habitudes alimentaires et au budget temps (habitudes de vie). Les débits respiratoires moyens sur la journée, données d'entrée de CERES, sont calculés à partir des temps passés et débits respiratoires par activité et par classe d'âge proposés par la Commission internationale de protection radiologique, CIPR 89 (173). Les valeurs sont présentées dans le tableau 17-11.

Tableau 17-11 Débits respiratoires et budgets temps selon l'activité et la classe d'âge (CIPR 89)

Activité	Adulte : Homme		Enfant : 10 ans		Enfant : 1 an	
	Temps passé	Débit respiratoire	Temps passé	Débit respiratoire	Temps passé	Débit respiratoire
	h/jour	m³/h	h/jour	m³/h	h/jour	m³/h
Sommeil	8	0,45	10	0,31	14	0,15
Assis	6	0,54	4,7	0,38	3,3	0,22
Activité légère	9,8	1,5	9,3	1,1	6,7	0,35
Activité forte	0,25	3	0	2,2	0	Non applicable
Moyenne	24	0,9	24	0,6	24	0,2

L'évaluation de l'exposition humaine doit également tenir compte de l'activité accumulée dans le temps, essentiellement dans les sols, et ses conséquences dans l'environnement. Elle est évaluée sur 1 an et sur une centaine d'année correspondant à la phase de fonctionnement de Cigéo.

b) Voies d'exposition humaine

En cas d'émission atmosphérique de radionucléides, les différentes voies d'exposition de l'homme (cf. Figure 17-5) sont les suivantes :

- exposition interne par inhalation due à l'immersion dans le panache ;
- exposition externe par irradiation due à l'immersion dans le panache ;
- exposition externe par irradiation suite à la présence sur le dépôt au sol ;
- la consommation de végétaux, pour lesquels la radioactivité résulte principalement des dépôts d'aérosols et de gouttes de pluie (voie directe) mais aussi des transferts racinaires à partir du sol (voie indirecte ou racinaire), et qui conduit à une exposition interne par ingestion ;
- l'ingestion de produits issus d'animaux, qui ont consommé des aliments contenant des éléments radioactifs.

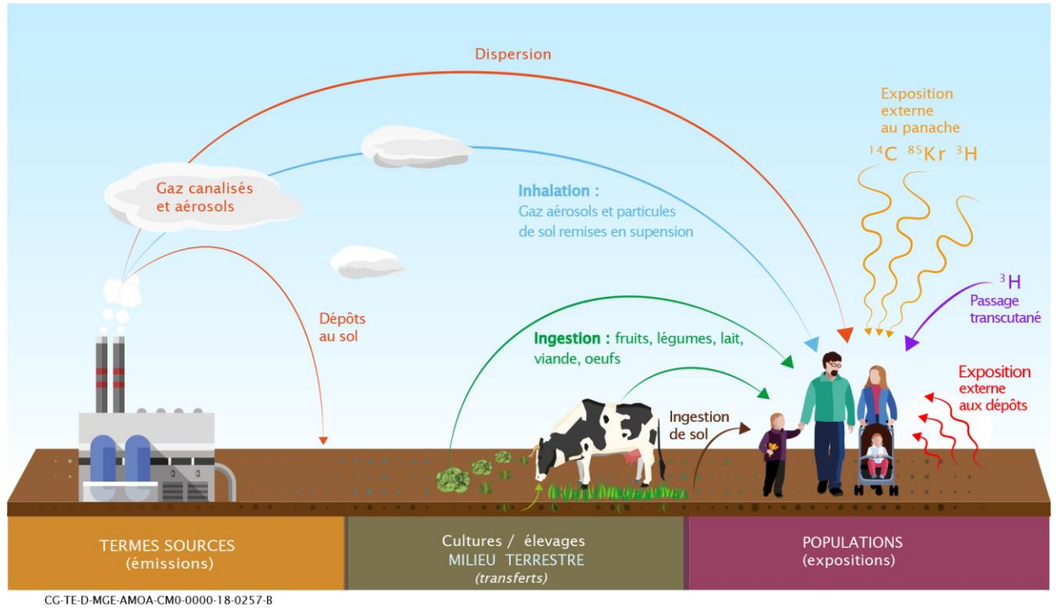


Figure 17-5 Voies de transfert et d'exposition des émissions atmosphériques

Seules les expositions aux rejets des installations sont considérées. L'exposition externe directe à la source, à savoir les colis de déchets radioactifs, est négligeable du fait de l'éloignement des populations et des dispositifs de protection mis en place (emballages de transports, génie civil et cellules blindées des installations de surface…).

Les modèles utilisés le transfert dans la biosphère sont des modèles déterministes (et non probabilistes), c'est-à-dire qu'ils utilisent des valeurs moyennes et non des distributions de valeurs de paramètres. Les valeurs de facteurs de transfert dans la biosphère sont issues de la publication IAEA de 2010 Technical Reports Series n° 472 (174).

Dans le cas d'émission de tritium, les voies d'exposition considérées sont légèrement différentes :

- l'immersion dans le panache conduit à une exposition interne par inhalation et par passage transcutané ;
- le tritium étant un émetteur β pur, il ne conduit pas à une exposition externe par les dépôts ; en raison de la mobilité du tritium dans les sols, l'effet d'accumulation dans le sol est très faible et est négligé ;
- comme les autres éléments radioactifs, il conduit par transferts foliaires dans la chaîne alimentaire, à une contamination par ingestion.

Les incidences sur la qualité de l'air sont modélisées à l'aide d'un outil de calcul choisi en référence, CERES (code d'évaluations rapides environnementales et sanitaires) développé et utilisé par le CEA (175). L'avantage de cet outil est qu'il couple le modèle de dispersion atmosphérique avec le modèle de transferts au travers des chaines agro-alimentaires vers l'homme et donc permet de calculer les doses directement à partir des rejets.

Par ailleurs, afin de localiser le maximum de concentration des émissions atmosphériques radioactives calculée dans l'air sur le domaine d'étude du modèle de dispersion atmosphérique, un autre logiciel que CERES a été utilisé. Il s'agit de l'outil IMPACT développé par ARIA Technologies (5). IMPACT modélise uniquement la dispersion atmosphérique, et possède des fonctions supplémentaires telles que localiser un maximum de concentration sur le domaine d'étude et cartographier le panache issu de la modélisation.

Les deux outils (CERES, IMPACT) montrent des résultats similaires (par exemple, de l'ordre de 0,001 Bq/m³ maximum pour le tritium et le carbone 14 rejetés par le centre de stockage Cigéo).

c) Évaluation des expositions humaines

Dans le module de calcul d'impact radiologique dosimétrique couplé à GASCON® implanté dans la plateforme CERES® (167), toutes les voies d'exposition sont implémentées :

- irradiation (ou exposition) externe par le panache ;
- irradiation (ou exposition) externe par le dépôt ;
- inhalation ;
- si nécessaire, dose par passage transcutané pour le tritium (HTO) ;
- ingestion de productions agricoles, végétales et animales, contaminées par le rejet.

Des modèles spécifiques existent également pour le calcul de l'impact dû aux rejets de tritium ou du ^{14}C émis sous forme de gaz.

Toutes les données nécessaires au calcul des transferts dans la chaîne alimentaire, propres au site étudié, sont disponibles en base de données lorsque les calculs sont réalisés dans la plateforme CERES®.

La radioactivité intégrée dans le temps, exprimée en $Bq.s^{-1}.m^{-3}$, est calculée en tous points du domaine d'étude. Elle s'obtient en multipliant l'activité moyenne par la durée du rejet (un an). Cette activité sert directement au calcul de la dose par irradiation externe par le panache ainsi que de la dose par inhalation.

Pour évaluer l'exposition humaine aux rejets atmosphériques chroniques, émis à débit constant en fonctionnement normal, on calcule une dose annuelle, après une ou plusieurs années de fonctionnement, exprimée en mSv/an. Cet impact prend en compte :

- la dose efficace par inhalation ;
- la dose efficace due l'irradiation externe par le panache ;
- la dose efficace due à l'irradiation externe par les dépôts, les dépôts prenant en compte l'accumulation dans le temps après plusieurs années de fonctionnement ;
- la dose efficace due à la consommation de productions agricoles, végétales et animales, contaminées par les dépôts ;
- si nécessaire, dans le cas du tritium émis sous forme HTO, la dose due au passage transcutané.

Les coefficients de dose étant fonction de l'élément radioactif, les doses sont évaluées à partir des résultats de dispersion relatifs à chaque élément radioactif. On effectue ensuite les sommations sur l'ensemble des éléments radioactifs présents dans les résultats de dispersion atmosphérique (émissions et filiations éventuelles).

- **Dose due à l'irradiation externe par le panache**

  La dose par irradiation externe dans le panache peut être due à l'ensemble des éléments radioactifs présents dans le panache, qu'il s'agisse de gaz, de vapeurs ou d'aérosols. Seuls les éléments radioactifs émetteurs bêta purs ne contribuent pas à cette dose. La dose efficace par exposition externe au panache est le produit de l'activité intégrée sur la durée d'exposition (dépendant du budget-temps) par le coefficient de dose pour l'élément radioactif considéré.

  Dans la plateforme CERES® radiologique, dans laquelle le code GASCON® est implanté, les coefficients de dose pour l'irradiation externe proviennent du rapport de l'US-EPA (176).

- **Dose efficace par inhalation**

  La dose par inhalation est due aux aérosols et aux vapeurs présents dans le panache radioactif. Elle se calcule par le produit de l'activité inhalée, elle-même égale au produit de l'activité intégrée de l'air par le débit respiratoire de l'individu et par le coefficient de dose efficace par inhalation. Les coefficients de dose par inhalation utilisés dépendent de la taille des particules. Par défaut, le coefficient de dose utilisé pour les aérosols correspond à des particules de 1 µm. En effet, les valeurs indiquées dans l'arrêté du 1er septembre 2003 (177) pour les personnes du public sont celles correspondant à un diamètre de 1 µm. Toutefois, si l'activité émise à l'environnement est décrite par un spectre granulométrique, le coefficient de dose utilisé est celui de la classe immédiatement supérieure. Par ailleurs, si les particules sont de taille supérieure à 10 µm. ces particules ne peuvent pas pénétrer dans l'arbre respiratoire profond mais sont ingérées. Dans le calcul d'impact, pour prendre en compte ce phénomène, les coefficients de dose utilisés sont alors les coefficients de dose par ingestion.

  Les débits respiratoires utilisés sont estimés à partir des volumes d'air inhalés quotidiennement, intégrant les temps de veille et de sommeil. Dans la plateforme CERES®, les valeurs proposées proviennent de la Commission internationale de protection radiologique (178) et sont respectivement de 0,9 $m^3.h^{-1}$ pour l'adulte, de 0,6 $m^3.h^{-1}$ pour l'enfant âgé de 10 ans et de 0,2 $m^3.h^{-1}$ pour l'enfant âgé de 1 an à 2 ans.

- **Dose due à l'irradiation externe par les dépôts**

  Dans le cas de l'évaluation de l'impact des rejets émis en fonctionnement normal de façon supposée continue, on évalue l'impact après une ou plusieurs années de fonctionnement de l'installation.

  Le calcul de l'exposition externe s'effectue donc en considérant une exposition aux dépôts pendant un an. Comme l'activité au sol perdure, il peut être nécessaire de tenir compte de l'activité déposée les années antérieures et d'évaluer l'évolution de cette exposition à différents instants après le début du fonctionnement des installations. Le dépôt est intégré sur un an, entre l'année A et l'année précédente A^{-1}.

  Dans la plateforme CERES® radiologique, dans laquelle le code GASCON® est implanté, les coefficients de dose pour l'irradiation externe par le dépôt proviennent du Fédéral Guidance n°12 (176).

- **Transfert dans la chaine alimentaire (hors tritium et ^{14}C) et dose par ingestion**

  Seuls les aérosols et les vapeurs peuvent être transférés dans la chaîne alimentaire. L'exposition interne de végétaux et de produits animaux peut se faire par voie dite « directe » ou par voie dite « indirecte ».

  La voie directe concerne les végétaux qui ont été contaminés par voie foliaire alors que la voie indirecte concerne les végétaux contaminés par voie racinaire.

  Pour les produits animaux, la voie directe correspond à la contamination de ces produits suite à l'ingestion, par les animaux, de végétaux contaminés par voie foliaire et la voie indirecte à l'ingestion de végétaux contaminés par voie racinaire.

  Dans un premier temps, on calcule l'activité des végétaux contaminés, soit « directement », par transfert foliaire lors du passage du panache, soit indirectement par transfert racinaire. Par la suite, on calcule l'activité dans les produits animaux (viande, lait…), provenant d'animaux ayant consommé des végétaux contaminés.

  Le modèle utilisé pour le ^{14}C émis sous forme de CO_2 et le modèle relatif au tritium sont différents des autres éléments radioactifs et présentés dans les paragraphes d) et e) du présent chapitre de l'étude d'impact.

  L'activité des végétaux due aux transferts air-végétal résulte d'une contamination par « mode direct », c'est-à-dire l'exposition résultant du transfert d'un radionucléide directement de l'air à la partie foliaire des végétaux. Le dépôt sur les végétaux se déduit du dépôt au sol en considérant la fraction de dépôt captée par le couvert végétal.

  La captation sèche est essentiellement corrélée à l'indice foliaire du végétal, c'est-à-dire la surface des feuilles rapportée à la surface couverte du sol. En pratique, on considère que la valeur du rapport de captation de la partie aérienne est égale au dixième de la valeur de l'indice foliaire.

  La captation relative à l'interception de l'eau de pluie est essentiellement corrélée à la surface foliaire des parties aériennes et à la hauteur d'eau précipitée, sachant que la plante se sature à partir d'une quantité d'eau, dépendant de la nature du végétal et de la nature de l'épiderme des plantes.

  La radioactivité des végétaux consommés à la récolte est évaluée à partir du débit moyen de dépôt capté par le végétal, de l'augmentation de ce dépôt pendant le temps de croissance, du transfert entre la surface foliaire et les organes consommés et du rendement à la récolte.

  Après la récolte, il est possible de calculer l'activité des végétaux à la consommation, en prenant en compte une diminution d'activité selon la décroissance radioactive entre la récolte et la consommation.

  Pour évaluer la contamination des végétaux due au transfert sol-plantes (transferts « racinaires » – contamination « indirecte »), l'activité du sol utilisée pour le calcul du transfert sol-plante prend en compte les pertes d'activité du sol par lixiviation et par exportation.

  Dans la modélisation, on suppose que les animaux sont dans les champs et qu'ils consomment, de façon continue, de l'herbe ou des fourrages. On détermine l'activité massique des végétaux consommés, puis on évalue le transfert de l'activité des végétaux consommés à la matière organique de l'animal (ses muscles) ou au lait.

  L'activité dans les productions animales se calcule à partir l'activité massique des végétaux consommés par l'animal étudié, de la consommation quotidienne de l'animal et du transfert de la ration quotidienne de l'animal aux produits animaux.

  La dose par ingestion comprend la dose due à la consommation de végétaux directement contaminés, la dose due à la consommation de végétaux indirectement contaminés, la dose due à la consommation de produits

d'origine animale, provenant d'animaux ayant consommé des végétaux directement contaminés et la dose due à la consommation de produits animaux ayant consommé des végétaux indirectement contaminés.

- **La dose due à la consommation de végétaux**

  Connaissant la quantité consommée de chaque végétal par personne par jour, on en déduit l'activité ingérée par personne par jour. Les coefficients de dose permettent ensuite de passer de l'activité ingérée à la dose.

- **La dose due à la consommation de produits animaux**

  La dose due à la consommation de produits d'origine animale (viande, lait…) est le produit de l'activité dans le produit animal par le coefficient de dose par ingestion. L'activité dans le produit animal se déduit de l'activité dans le végétal consommé, due aux transferts directs ou indirects. Connaissant la quantité consommée de chaque produit, il est possible d'en déduire l'activité ingérée.

d) Cas particulier du ^{14}C

Émis sous forme de gaz (CO_2), le comportement du ^{14}C est traité suivant la méthode du rapport isotopique constant, décrite ci-après.

L'absorption du ^{14}C par les plantes, puis par les animaux, est proportionnelle à celle du ^{12}C stable. Un facteur de conversion permettant de passer de l'activité intégrée de l'air à l'activité d'un kilogramme de végétal a été défini. La teneur de l'air en carbone stable est de 0,15 $g.m^{-3}$. En considérant, en première approximation, que la masse de carbone est de 0,45 gramme par gramme de végétal sec, l'activité d'un végétal pour une activité de 1 $Bq.m^{-3}$ est calculée, elle est en outre fonction du taux de matière sèche.

La dose par ingestion est fonction de la consommation individuelle de végétaux ($kg.an^{-1}$), et du coefficient de dose par ingestion ($Sv.Bq^{-1}$).

L'activité dans les produits animaux peut être calculée de la même façon, en évaluant un facteur de conversion dépendant de la teneur en matière sèche dans le produit animal. Connaissant l'activité en ^{14}C dans les produits animaux, il est possible, comme pour les autres éléments radioactifs, de calculer la dose par ingestion.

e) Cas particulier du tritium

- **Dose due à l'irradiation par le panache**

  La dose par irradiation externe est évaluée uniquement pour le tritium gaz, HT. Elle se calcule comme pour les autres éléments radioactifs par le produit de l'activité intégrée de l'air et du coefficient de dose par irradiation par le panache. Le coefficient de dose par irradiation externe du tritium présent sous forme HTO est nul.

- **Dose par inhalation**

  Comme le tritium est un élément très mobile, le dépôt résultant en surface est très faible. Par ailleurs, le coefficient de dose associé à cette voie d'exposition est négligeable quelle que soit la forme physico-chimique présente. L'irradiation externe due au dépôt de tritium est, donc nulle.

  La dose par inhalation due au tritium se calcule de la même façon que la dose par inhalation pour les autres éléments radioactifs, par le produit de l'activité intégrée sur le temps par le débit respiratoire et le coefficient de dose par inhalation, qui, pour une même classe d'âge, est fonction de la forme physico-chimique (HT, HTO, méthane tritié). On rappelle que, dans l'étape de dispersion atmosphérique, la transformation du gaz HT en eau tritiée HTO est modélisée.

- **Dose par passage transcutané**

  La vapeur d'eau tritiée (HTO) peut être absorbée à travers la peau. En pratique, on définit cette exposition par passage transcutané en considérant que la dose reçue par passage à travers la peau est égale à 40 % de la dose reçue par inhalation.

- **Absorption de HT et de HTO par le sol et par les plantes**

  Les différents phénomènes modélisés dans GASCON® concernant le dépôt de HT et HTO sont les suivants :

  ✓ **par temps sec** ;

  - HTO : dépôt sec au sol ; Vd = 3 x 10^{-3} $m.s^{-1}$,
  - HTO : échange avec les végétaux fondés sur la différence d'activité volumique entre l'atmosphère et le végétal,

  ✓ **par temps de pluie** ;

  - HTO : dépôt et infiltration de la pluie dans le sol (activité de la pluie d'après le modèle de Chamberlain).
  - HTO : échange direct (par voie aérienne) avec les végétaux, négligé.

- **Calcul de l'activité moyenne de l'eau du sol**

  L'activité moyenne en eau tritiée dans le sol se calcule en rapportant la quantité de tritium déposée au sol (par dépôt sec et dépôt humide) à l'apport total en eau (dépôt sec de vapeur d'eau, eau de pluie, irrigation éventuelle du sol).

- **Exposition externe due au dépôt**

  Pour le tritium, on ne considère pas d'exposition externe au dépôt au sol car, pour cet élément radioactif, le coefficient de dose associé à cette voie est négligeable. Par ailleurs, comme le tritium est mobile, le dépôt restant en surface est très faible.

- **Activité des végétaux**

  L'activité de l'eau tritiée dans les végétaux résulte d'un bilan entre les entrées et les sorties de tritium dans le compartiment foliaire des végétaux. Dans cette relation, on tient compte de l'incorporation de tritium dans le végétal à la fois à travers les feuilles (voie dite « directe », atmosphérique) et par le sol (voie dite « indirecte »). En considérant en première approximation, que la température des feuilles est sensiblement égale à celle de l'air, le rapport C_{eau}/C_{eau}^{sat} représente l'humidité relative. L'activité massique de la vapeur d'eau de l'air en tritium au niveau du sol se calcule à partir de l'activité intégrée de l'air.

  L'activité en tritium d'un végétal est contenue non seulement dans son eau, mais aussi dans sa matière organique sèche. Dans une approche simple, on considère que la production de matière est continue quel que soit le type de végétal et dépend essentiellement des facteurs climatiques. L'activité en tritium de la matière produite est en relation avec l'activité de l'eau de la plante. Cependant, il convient de faire une différence entre la part du tritium aisément échangeable et se mettant en équilibre avec l'eau tritiée à laquelle le végétal est exposé, et la part du tritium en position non échangeable et intimement lié à la matière organique. On parle dans ce cas d'OBT ou « organically bound tritium ».

  Pour évaluer la part du tritium non échangeable, le taux de matière sèche du végétal est pondéré d'un coefficient égal à 0,53. Ce coefficient correspond au produit du facteur de séparation isotopique HTO/H_2O (0,95) par le ratio (90/162), qui correspond au rapport de la masse molaire de $(H_2O)_5$ (M = 90) sur la masse d'une molécule de cellulose ou d'amidon $(C_6H_{10}O_5)$ n (M = 162), ces deux composants ayant le même nombre de moles d'hydrogène,

- **Exposition par ingestion de végétaux**

  L'exposition par ingestion de végétaux contaminés est obtenue en multipliant l'activité en tritium de l'eau du tissu foliaire par le taux de consommation du végétal par l'individu et par les coefficients de dose par ingestion relatifs aux fractions libre et liée du tritium.

- **Activité dans les produits animaux**

  Pour évaluer l'exposition d'un individu lorsqu'il ingère des produits animaux (lait, viande, œufs…), il faut d'abord calculer l'activité massique des végétaux consommés par les animaux (herbe, foin, maïs, céréales), puis évaluer le transfert d'activité en tritium des végétaux à la matière organique de l'animal (ses muscles), ou au lait, ou aux œufs.

- **Exposition par ingestion de produits animaux**

  L'exposition par ingestion de produits animaux contaminés est estimée en multipliant l'activité massique moyenne du produit animal par le taux de consommation du produit par l'individu et par les coefficients de dose par ingestion relatifs aux fractions libres et liées du tritium dans le produit animal. Pour évaluer la part du tritium OBT, le taux de matière sèche du produit animal est pondéré par un coefficient représentatif, d'une part du fractionnement du tritium par rapport à l'Hydrogène standard lors de son incorporation à la matière organique, et d'autre part du rapport des masses molaires moléculaires de l'eau et des protéines et lipides.

f) Coefficients de dose retenus

COEFFICIENT DE DOSE

Le coefficient de dose permet de comparer la nocivité des éléments radioactifs, à radioactivité ingérée ou inhalée égale. La dose efficace à laquelle serait exposée une personne qui aurait ingéré une certaine quantité d'une substance radioactive est calculée à partir de la radioactivité des éléments qu'elle contient. La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) recommande l'utilisation de valeurs de référence moyennes, décrites dans ses publications qui sont reprises par la directive EURATOM puis dans la réglementation française (177).

L'exposition humaine est calculée en utilisant les coefficients de dose issus de la CIPR, repris dans la Directive Euratom puis dans l'Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants (177) présentés dans le tableau 17-12 pour les radionucléides susceptibles d'être rejetés par les installations de Cigéo.

Il est rappelé que, dans une démarche enveloppe, les particules émettrices alpha sont assimilées à du ^{239}Pu et les particules émettrices bêta-gamma 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.

Le coefficient d'irradiation par le panache utilisé par CERES pour le ^{85}Kr, 1,19 x 10^{-16} $Sv.s^{-1}.Bq^{-1}.m^{-3}$, est issu de la publication du Federal Guidance n° 12 de 1993 (176). L'arrêté du 1er septembre 2003 (177) donne un coefficient de 2,2 x 10^{-11} $Sv.j^{-1}.Bq^{-1}.m^{-3}$ pour ce radionucléide, ce qui équivaut à 2,5 x 10^{-16} $Sv.s^{-1}.Bq^{-1}.m^{-3}$. Cette valeur considère l'exposition globale, l'arrêté précisant que « *l'exposition interne résultant de gaz absorbés dans les tissus de l'organisme ou contenus dans les poumons est négligeable si on la compare à l'exposition externe de la peau et des autres organes* ». Comme CERES ne considère pas d'exposition interne aux gaz rares (coefficient nul pour l'inhalation et l'ingestion), il y a un facteur 2 entre la valeur issue de la publication Federal Guidance n° 12 et celle donnée par la réglementation, ce qui reste du même ordre de grandeur.

Tableau 17-12 Coefficients de dose retenus pour les éléments radioactifs considérés dans les évaluations d'exposition humaine

Élément radioactif	Numéro atomique Z	Nombre de masse A	Isotope	Période an	Mode de désintégration	Forme chimique considérée	Vitesse de dépôt sec (m.s-1)	Coefficients de dose							
								Irradiation panache ($Sv.s^{-1}.Bq^{-1}.m^{-3}$)	Irradiation dépôt ($Sv.s^{-1}.Bq^{-1}.m^{-2}$)	Inhalation ($Sv.Bq^{-1}$)			Ingestion ($Sv.Bq^{-1}$)		
										Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 à 2 ans	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 à 2 ans
Tritium	1	3	^{3}H	12,3	Bêta	Eau tritiée, vapeur (HTO)	3×10^{-3}	3.31×10^{-19}	0	$1,80 \times 10^{-11}$	$2,30 \times 10^{-11}$	$4,80 \times 10^{-11}$	$1,80 \times 10^{-11}$	$2,30 \times 10^{-11}$	$4,80 \times 10^{-11}$
Carbone	6	14	^{14}C	5 700	Bêta	Gaz carbonique, $^{14}CO_2$	10^{-4}	2.24×10^{-19}	$1,61 \times 10^{-20}$	$6,20 \times 10^{-12}$	$8,90 \times 10^{-12}$	$1,90 \times 10^{-11}$	$5,80 \times 10^{-10}$	$8,00 \times 10^{-10}$	$1,60 \times 10^{-9}$
Krypton	36	85	^{85}Kr	10,8	Bêta, gamma	Gaz	0	$1,19 \times 10^{-16}$	0	0	0	0	0	0	0
Strontium	38	90	^{90}Sr	28,8	Bêta	Particule		$7,53 \times 10^{-18}$	$1,11 \times 10^{-08}$	$3,75 \times 10^{-08}$	$5,37 \times 10^{-08}$	$1,19 \times 10^{-07}$	$3,07 \times 10^{-08}$	$6,59 \times 10^{-08}$	$9,30 \times 10^{-08}$
Plutonium	94	239	^{239}Pu	24 110	Alpha	Particule	5×10^{-3}	$4,24 \times 10^{-18}$	$3,67 \times 10^{-19}$	$5,00 \times 10^{-5}$	$4,80 \times 10^{-5}$	$7,70 \times 10^{-5}$	$2,50 \times 10^{-7}$	$2,70 \times 10^{-7}$	$4,20 \times 10^{-7}$

17.1.2.5 Méthode d'évaluation du risque sanitaire lié aux émissions radioactives

Sur la base d'une relation dose-effet linéaire sans seuil, c'est-à-dire selon le principe que « toute dose même faible représente un détriment sanitaire », la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) adopte une approche prudente et recommande l'application d'une limite annuelle de la dose efficace de 1 $mSv.an^{-1}$. La CIPR juge donc acceptables les conséquences d'une exposition additionnelle continue sur la vie, correspondant à une dose efficace annuelle de l'ordre de 1 $mSv.an^{-1}$, hors exposition médicale et naturelle.

Cette valeur limite d'exposition d'une personne du public de 1 $mSv.an^{-1}$, retenue également par la directive européenne 96/29/Euratom (179), a été introduite par le décret 2003-462 dans le code de la santé publique (articles R. 1333-8 et suivants).

Parallèlement au principe de limitation des expositions, la CIPR insiste beaucoup sur le concept d'optimisation de la protection radiologique (ALARA), y compris dans le cadre des stockages de déchets radioactifs. L'optimisation consiste à réduire les expositions à des niveaux aussi bas que raisonnablement possible compte tenu des facteurs économiques et sociaux et à intégrer des restrictions sur les doses individuelles.

L'Andra considère que l'impact dosimétrique des installations de stockage en fonctionnement normal ne doit représenter, au maximum, qu'une fraction de la limite réglementaire. Pour la conception des centres de stockage, la contrainte de dose retenue est de 0,25 $mSv.an^{-1}$ en phase de fonctionnement.

17.1.3 Analyse de sensibilité de l'évaluation aux incertitudes

L'analyse de la sensibilité aux incertitudes est menée sur chaque étape de l'évaluation.

17.1.3.1 Analyse des incertitudes sur les émissions

L'évaluation des émissions radioactives gazeuses du centre de stockage Cigéo se base sur les activités connues des éléments radioactifs pouvant s'exprimer sous forme gazeuse présents dans les colis de déchets radioactifs MA-VL et sur la fraction de relâchement associée, dont les valeurs sont accompagnées d'incertitudes.

La contamination de surface non fixée est basée sur les seuils d'acceptation des colis dans l'installation : 4 $Bq.cm^{-2}$ pour les émetteurs beta/gamma et de 0,4 $Bq.cm^{-2}$ pour les émetteurs alpha. Une fois placés dans leur conteneur de stockage, la remise en suspension de la contamination surfacique des colis primaires est fortement limitée (pas de circulation d'air à l'intérieur du conteneur). 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).

Les rejets radioactifs des installations sont évalués de manière enveloppe en considérant le bâtiment de surface nucléaire saturé par le type de colis le plus pénalisant en termes d'émissions radioactives et l'ensemble des alvéoles souterrains pleins et ventilés.

17.1.3.2 Analyse des incertitudes sur la dispersion atmosphérique

Les modèles 2D appliqués par le logiciel de dispersion atmosphérique CERES© sont des modèles de type gaussien. Ils mettent en jeu un ensemble d'hypothèses permettant de reproduire de manière simplifiée le phénomène de dispersion. Ces hypothèses sont les suivantes :

- turbulence homogène dans les basses couches ;
- les données d'entrée météorologiques d'une station sont représentatives de l'ensemble du domaine de calcul (aire d'étude) ;
- composante verticale du vent négligeable devant la composante horizontale ;
- régime permanent instantanément atteint.

Tous les modèles gaussiens, peuvent être utilisés pour la modélisation autour de sites situés dans des reliefs peu accidentés et sur lesquels les conditions météorologiques sont homogènes. Le code Gascon utilisé pour évaluer les incidences radiologiques réalise une modélisation du panache en utilisant une méthode à bouffée gaussienne dans une géométrie simplifiée qui ne prend pas en compte le relief existant ni la présence des bâtiments.

La plateforme CERES®, développée par le CEA, est utilisée par plusieurs opérateurs nucléaires français dans leurs dossiers d'autorisation et font l'objet d'instructions régulières sans remise en cause de sa qualité par les autorités. Plusieurs références présentent la qualification de cette plateforme de calcul par l'intermédiaire d'inter-comparaisons avec d'autres logiciels (180) et (166).

Des études complémentaires avec des modèles 3D (IMPACT 3D) tenant compte de la présence des bâtiments montrent que les résultats effectués en 2D avec CERES® sont plus pénalisants (4).

Les résultats sont valables pour des distances supérieures à 100 m du point de rejet, notamment en cas de présence de bâtiments. Par ailleurs, au-delà de la dizaine de kilomètres, les résultats présentent plus d'incertitudes car d'autres phénomènes de turbulence et de diffusion doivent être considérés. Les calculs présentés se situent dans le domaine de validité des modèles à savoir dans la fourchette de distance 100 m – 10 km.

La pertinence des modèles gaussiens n'est pas remise en cause, cependant, il est important de signaler que les résultats obtenus par différents logiciels de simulation (ADMS, IMPACT…) représentent de l'ordre d'un ordre de grandeur d'incertitudes dans l'évaluation des activités volumiques des éléments radioactifs et des concentrations massiques des polluants conventionnels. Des comparaisons plus spécifiques du module de dispersion atmosphérique de Gascon et du code de dispersion atmosphérique ARIA Impact™ montrent que les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur et que les écarts ne sont pas de nature à remettre en cause les incidences associées.

Des études complémentaires avec des modèles 3D (IMPACT 3D) tenant compte de la présence des bâtiments montrent que les résultats effectués en 2D avec CERES® sont plus pénalisants (4).

17.1.3.3 Analyse des incertitudes sur les expositions

Les concentrations à l'intérieur des habitations sont considérées égales aux concentrations extérieures. Cela représente une condition majorante de l'exposition.

Il a été retenu un scénario correspondant à la présence de population 24 heures sur 24 heures, 365 jours par an sur l'aire d'étude. Ce scénario n'est peut-être pas représentatif de la population de l'aire d'étude qui peut être amenée à quitter l'aire d'étude régulièrement pour le travail ou les vacances par exemple. Toutefois cette hypothèse très majorante permet de prendre en compte les cas extrêmes pouvant exister au sein de la population (personnes âgées peu mobiles par exemple, agriculteurs locaux).

La méthode retenue pour réaliser l'enquête alimentaire utilise un échantillon de population dont les familles possèdent un jardin potager ce qui majore l'autarcie moyenne locale.

Par ailleurs, une étude de sensibilité spécifique a été réalisée sur les comportements des populations. En cohérence avec l'approche BIOMASS de l'AIEA (181), l'exposition de catégories particulières de population a été évaluée. Ainsi, cinq groupes particuliers représentatifs de comportements majorants ont été définis : l'éleveur de bovins, le villageois jardinier, le villageois possédant une basse-cour, le chasseur-cueilleur et le travailleur sur le centre Andra de Meuse/Haute-Marne. Pour ces groupes, le comportement alimentaire est majoré en considérant une consommation et autoconsommation d'une quantité équivalente au 95e percentile de la loi de probabilité disponible. Ces comportements particuliers concernent principalement les adultes. Les calculs ne sont réalisés que pour cette classe d'âge « adulte » et sont comparés à la classe d'âge adulte du groupe dit « multi-activités ». Les résultats montrent que le groupe particulier villageois jardinier présente la plus forte dose, de l'ordre de de l'ordre de 0,0004 mSv/an, soit un facteur 2 par rapport au groupe multi-activités.

Les valeurs utilisées pour les facteurs de transfert des éléments radioactifs dans la biosphère, issues du Technical Report Series 472 (IAEA 2010 (174)) sont basés sur des modèles déterministes (et non probabilistes) c'est-à-dire qu'ils utilisent des valeurs moyennes et non pas des distributions de valeurs de paramètres. Ces approximations engendrent des incertitudes sur les résultats de calculs sans pouvoir quantifier les fourchettes de valeurs associées.

Les valeurs dosimétriques utilisées pour calculer l'impact des expositions aux rayonnement ionisants proviennent de la commission internationale de protection radiologique (CIPR). Elles sont communément utilisées pour l'évaluation des impacts radiologiques. Ces valeurs résultent de consensus d'experts internationaux dont les incertitudes ne seront pas discutées ici.

Le tritium est considéré sous sa forme vapeur (eau tritiée HTO), compte tenu que cette forme est plus pénalisante par rapport à la forme gazeuse HT (coefficient de dose inhalation de la forme HTO 10 000 fois supérieur au coefficient de dose inhalation de la forme HT).

Pour réaliser une évaluation pénalisante des expositions humaines aux rejets d'aérosols, les particules émettrices alpha ont été assimilées à du ^{239}Pu et les particules émettrices bêta-gamma ont été assimilées à du ^{90}Sr. En effet, les coefficients de dose par inhalation parmi les émetteurs de la même famille, sont plus élevés et sont donc plus impactantes pour la santé humaine.

L'exposition par ingestion de ^{14}C contribue à hauteur de 99 % à la dose efficace engagée calculée. Les valeurs de paramètres de transfert et d'exposition relatifs à cet élément radioactif sont donc particulièrement sensibles dans l'évaluation.

17.1.3.4 Analyse des incertitudes sur le risque sanitaire

Les évaluations de doses efficaces engagées permettent d'intégrer les effets cumulés des différents éléments radioactifs.

17.1.4 Conclusion

L'analyse de la sensibilité de l'évaluation aux incertitudes, restituée dans le tableau 17-13 ci-après, vise à vérifier la fiabilité des évaluations réalisées.

Tableau 17-13 Analyse de sensibilité aux incertitudes sur l'évaluation des incidences liées aux émissions radiologiques sur la santé humaine

Étape	Hypothèse retenue	Commentaire	Incertitude
Définition des émissions	Limitation aux éléments radioactifs potentiels	Bonne connaissance des éléments radioactifs présents dans les déchets basée sur les données de connaissances des producteurs (maîtrise de la production, caractérisation des déchets, retour d'expérience de la surveillance des colis…)	Faible
	Utilisation des limites réglementaires de contamination surfacique, diminuées d'un facteur 10	Le retour d'expérience de la surveillance des colis montre que cette hypothèse est majorante	Faible
Définition des caractéristiques de l'exposition humaine	Population de référence multi-activités Temps d'exposition Volumes respiratoires (inhalation) Consommation locale (ingestion)	Faible différence entre le groupe de référence multi-activités et les groupes particuliers étudiés Données caractéristiques de l'homme (adulte, enfant) basées sur des normes internationales (CIPR) Enquête réaliste de consommation alimentaire réalisée localement	Faible
Hypothèses de dispersion atmosphériques et d'exposition humaine	Localisation des populations Direction et vitesse du vent Relief et obstacles Fréquence et intensité des pluies Vitesse spécifique de sédimentation Type de végétaux ou d'animaux	Localisations des populations existantes aux endroits les plus exposés aux vecteurs Données locales disponibles	Faible
Modélisation de la dispersion atmosphérique	Code dispersion vapeurs et aérosols Code dispersion ^{14}C Code dispersion ^{3}H	Codes basés sur des modèles les plus robustes au niveau international et utilisés dans leurs limites d'utilisation, avec calage des écarts-type de dispersion basés sur des expérimentations réelles (Pasquill-Turner) sans possibilité de calage pour cette étude précise (pas de traçage envisageable)	Faible
Modélisation des transferts dans l'environnement	Air Eau Air Sol Air Plante Air Animal Eau Sol Eau Plante Eau Animal Sol Plante Sol Animal Plante Animal	Bases de données acceptées au niveau international mais plages de variation parfois importantes Hypothèse de condition d'équilibre considérée entre les milieux Les modèles utilisés pour les facteurs de transfert dans la biosphère, issus du TRS 472 (174) sont des modèles déterministes (et non probabilistes) c'est-à-dire qu'ils utilisent des valeurs moyennes et pas des distributions de valeurs de paramètres, Ces approximations engendrent des incertitudes sur les résultats de calculs sans pouvoir quantifier les fourchettes de valeurs associées.	Moyenne
Calculs d'exposition	Code Calcul Inhalation Code Calcul Ingestion Code Calcul Contact Cutané	Équations éprouvées	Faible
Évaluation de la dose efficace engagée	Dose efficace par inhalation ; Dose efficace due l'irradiation externe par le panache ; Dose efficace due à l'irradiation externe par les dépôts, les dépôts prenant en compte l'accumulation dans le temps après plusieurs années de fonctionnement ; Dose efficace due à la consommation de productions agricoles, végétales et animales, contaminées par les dépôts ; Si nécessaire, dans le cas du tritium la dose due au passage transcutané	Coefficients de dose les plus robustes issus d'expertises internationales Facteurs d'incertitude intégrés	Faible
Analyse du risque sanitaire	Articles R. 221-1 et suivants du code de l'environnement (codifiant le décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 (3) 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)	Facteurs d'incertitude intégrés	Faible

Les incertitudes sont globalement faibles et compensées par des hypothèses majorantes sur les estimations des émissions, des expositions humaines, conférant une bonne fiabilité des résultats de l'évaluation des incidences sur la santé humaine et du risque sanitaire associé.

17.2 Méthodes d'évaluation des incidences conventionnelles sur la santé humaine

L'évaluation des impacts du projet global Cigéo a pour objet d'apporter des éléments d'appréciation du risque encouru pour les populations environnantes lors de la phases d'aménagements préalables et de construction, puis lors de la phase de fonctionnement. Cette évaluation constitue une aide aux décideurs (États, agents instructeurs) et à l'opérateur industriel pour vérifier que le projet ne présente pas de risque notable pour la santé. Cette évaluation ne permet pas une estimation prévisionnelle de l'impact sanitaire du projet global comme on l'entend en santé publique ou en épidémiologie, c'est-à-dire en termes de nombre de cas qui pourraient être directement imputables aux émissions du projet.

La démarche des évaluations des émissions d'un site industriel se déroule en généralement en trois étapes :

- l'identification des dangers associés aux substances émises ;
- l'analyse des effets potentiels sur la santé suite à l'évaluation des expositions des populations ;
- la caractérisation des risques mettant en relation les niveaux d'exposition estimés avec les indicateurs et objectifs de protection (issus des meilleures connaissances scientifiques et/ou de la réglementation).

L'évaluation des impacts dits « conventionnels » du projet global Cigéo sur la santé des populations est présentée, selon deux grandes familles d'émissions : physiques et chimiques (incluant les poussières et les micro-organismes).

Les approches permettant d'estimer le risque sanitaire sont présentées pour chaque famille d'émissions.

Pour toutes les émissions faisant partie du projet global Cigéo, les sources ont été évaluées par phase et par type d'activités. Les évaluations présentées pour les impacts conventionnels sont donc celles qui conduisent à l'exposition la plus forte pour les populations.

17.2.1 Méthode d'évaluation des incidences sur la santé humaine liées aux émissions physiques et risques sanitaires associés

Les émissions physiques étudiées sont principalement le bruit et les champs électriques et magnétiques. Il n'existe pas de méthodologie spécifique concernant l'évaluation de l'impact de ces émissions physiques. Par ailleurs, les études scientifiques ne démontrent pas à ce jour de relation dose-effet entre l'exposition à des émissions sonores, à des champs électriques ou magnétiques et la survenue de pathologies. Ainsi, il n'est pas possible de caractériser des risques. Les expositions des populations sont donc analysées au regard de seuils de nuisance ou de recommandations issues d'études scientifiques.

Les sources et les propagations sonores sont modélisées dans le cadre d'études acoustiques. Le logiciel utilisé pour réaliser les modélisations 3D est CADNAA de DATAKUSTIK. Les données et hypothèses de modélisations sont présentées dans le chapitre 0 du présent volume de l'étude d'impact. Les résultats des modélisations sont ensuite comparés aux niveaux de seuils réglementaires existants (cf. Chapitre 13.1.2 du présent volume de l'étude d'impact) et aux dernières recommandations de l'Organisation mondiale de la santé. Les experts de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), dans leur rapport sur le bruit environnemental de 2018 (182), recommandent de ne pas dépasser un seuil de 53 décibels (dB(A)) en journée et un seuil de 45 dB(A) la nuit, pour le trafic automobile, et un seuil de 55 décibels (dB(A)) en journée et un seuil de 44 dB(A) la nuit, pour le trafic ferroviaire. Les seuils fixés par la réglementation applicable en France sont supérieurs à ces recommandations.

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 mesurés 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 (183).

En termes d'analyse des risques sanitaires associés, lorsque les valeurs d'exposition humaine estimées pour les émissions physiques sont inférieures aux seuils réglementaires ou aux recommandations, il est considéré que l'effet n'est pas notable pour la santé humaine.

17.2.2 Méthode d'évaluation des incidences sur la santé humaine liées aux émissions chimiques et risques sanitaires associés

La méthode d'évaluation des incidences sur la santé humaine des émissions chimiques est conforme aux préconisations du Ministère de l'Environnement (recommandation du ministère de l'environnement pour l'évaluation des risques sanitaires des installations classées pour l'environnement) et notamment la note du ministère du 22 février 2019 (184) relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières. Elle suit les dispositions du guide de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) du 28 août 2013 (185) sur l'établissement d'une évaluation des risques sanitaires d'un projet industriel (Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées).

Le guide de l'INERIS décrit la démarche d'évaluation, en vue de la prévention et la gestion des risques sanitaires des installations classées pour l'environnement soumises à autorisation, qui a fait l'objet d'une circulaire du 9 août 2013 (186) de la Direction générale de la prévention des risques et la Direction générale de la santé.

Il est notamment utilisé pour les installations en projet ; par extension, l'Andra a retenu d'utiliser ce guide pour l'évaluation des expositions humaines liées aux émissions chimiques de ses centres de stockage et aux risques sanitaire associé.

La démarche intégrée se déroule en 4 étapes :

- l'évaluation des émissions de l'installation : caractérisation des émissions et conformité au regard des prescriptions réglementaires et aux meilleures techniques disponibles ;
- l'évaluation des enjeux et des voies d'exposition humaine : sélection des substances d'intérêt puis élaboration d'un schéma conceptuel décrivant les relations entre les sources de polluants, les milieux et les vecteurs de transfert et les usages et populations exposés ;
- l'évaluation de l'état des milieux : déterminer si l'état actuel des milieux est compatible avec les usages ;
- l'évaluation prospective des risques sanitaires : risques attribuables aux émissions prévues pour les populations autour de l'installation.

Les résultats obtenus à chaque étape permettent de considérer à la fois les émissions de l'installation, les moyens de les réduire, le contexte environnemental et populationnel et les risques sanitaires attribuables.

L'évaluation des risques sanitaires du projet global Cigéo porte essentiellement sur les poussières et les composés organiques tels que les oxydes d'azote, les oxydes de soufre, le monoxyde de carbone et les composés organiques volatils.

Les émissions atmosphériques sont les seules sources d'émissions considérées pour les composés chimiques dans l'évaluation des risques sanitaires car les dispositions de gestion des eaux, ainsi que les contrôles des émissions liquides permettront de ne rejeter que des eaux de bonne qualité chimique et écologique, et ainsi d'écarter un risque éventuel pour la santé des populations (cf. Chapitre 2 du volume VI de la présente étude d'impact).

Les méthodes qui ont successivement permis d'évaluer l'exposition des populations et de caractériser les risques associés sont présentées dans les paragraphes qui suivent. Les méthodes de détermination des émissions de polluants et de leur dispersion dans l'air sont quant à elles présentées dans le chapitre 2.4 du présent volume de l'étude d'impact.

17.2.2.1 Méthode d'évaluation de l'exposition des populations aux émissions atmosphériques

Pour l'évaluation de l'exposition humaine, le code de la santé publique recommande de considérer le(s) groupe(s) d'individus le(s) plus particulièrement exposés à ladite « source ».

Les émissions chimiques atmosphériques dans l'aire d'étude rapprochée du centre de stockage Cigéo, incluent les émissions de la zone puits, de la zone descenderie, de la liaison intersites, de la déviation de la route départementale D60/960 et de l'installation terminale embranchée. Les émissions chimiques atmosphériques au

niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de l'installation terminale embranchée sont beaucoup plus faibles (avec un trafic très limité, au maximum de 8 passages de train maximum par jour (cf. Chapitre 12.1.2.3 du volume IV de la présente étude d'impact). Les populations à proximité de ces voies mais éloignées du centre de stockage Cigéo sont beaucoup moins exposées, et le risque sanitaire associé est encore plus faible.

Ainsi, les populations retenues pour l'étude des incidences des émissions chimiques du projet global Cigéo sont, compte tenu de la nature et de la quantité des émissions, celles qui se trouvent être les plus proches du centre de stockage Cigéo, à savoir celles de : Bonnet, Gillaumé, Saudron, Mandres en Barrois, Ribeaucourt et Bure, ainsi que les individus fréquentant l'Hôtel-restaurant du Bindeuil (Établissement Recevant Public) et de l'école d'Échenay (établissement recevant une population vulnérable).

Plusieurs voies d'exposition des populations à ces émissions chimiques atmosphériques sont possibles :

- la première est l'inhalation de gaz et poussières émis. Il s'agit d'une voie d'exposition directe ;
- la seconde, moins importante, est l'ingestion de poussières déposées. Il s'agit d'une voie d'exposition indirecte tenant compte des transferts de composés dans les sols.

L'inhalation est la voie d'exposition majoritaire et la plus toxique pour les substances chimiques d'intérêt émises par le projet. L'exposition par ingestion est négligeable par rapport à l'exposition par inhalation.

Les calculs d'exposition humaine liée aux émissions chimiques sur la santé sont réalisés avec des hypothèses majorant les résultats :

- les populations (adultes et enfants) séjournent 24 heures sur 24 heures, 7 jours sur 7 jours et 365 jours par an sur leur lieu de résidence (habitations et établissements), soit une fréquence d'exposition aux émissions égale à 1 ;
- la concentration inhalée de composés chimiques correspond à la concentration atmosphérique estimée par modélisation au niveau des lieux de résidence.

L'exposition humaine correspond aux concentrations atmosphériques moyennes annuelles des composés chimiques inhalées par les populations retenues. Ces concentrations inhalées (notée CI), exprimées en $\mu g.m^{-3}$, sont calculées selon l'équation suivante :

$$CI = C \times F$$

Avec :

- C : concentration atmosphérique du composé toxique en $\mu g.m^{-3}$; il s'agit de la concentration aux niveau de la localisation des populations ;
- F : taux d'exposition (nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours). Dans la présente étude, F est considéré égal à 1.

17.2.2.2 Méthode d'analyse des risques sanitaires pour une exposition par inhalation

Conformément à la méthodologie recommandée par l'INERIS (170), le risque sanitaire est estimé, en évaluant, à l'aide des valeurs toxicologiques de référence relatives aux substances étudiées, soit des quotients de danger (QD) dans le cas des substances avec effet de seuil (substances non cancérogènes), soit des excès de risque individuel (ERI) dans le cas des substances sans effet de seuil (substances cancérogènes).

L'évaluation du risque sanitaire est réalisée à l'aide des valeurs toxicologiques de référence (VTR). L'appellation VTR regroupe toutes les relations quantitatives entre une dose et l'apparition d'un effet lié à une exposition aiguë ou à une exposition chronique continue ou répétée dans le temps (effets à seuil), ou entre une dose et une probabilité d'effet (effets sans seuil).

Le quotient de danger (QD), en présence d'effet à seuil, pour l'inhalation, est calculé à partir de la concentration (CI) comme suit :

$$QD = \frac{CI}{VTR}$$

En termes d'interprétation, lorsque que le QD est inférieur à 1, la survenue d'effet toxique apparaît peu probable même pour les populations sensibles. Au-delà de 1 la possibilité d'apparition d'effets ne peut être exclue.

L'excès de risque individuel (ERI), en présence d'effets sans seuil, pour l'inhalation, est calculé à partir de la concentration (CI), le temps d'exposition (Ti) et la durée de vie (Tm) comme suit :

$$ERI = \frac{CI \times Ti}{Tm} \times ERU$$

Pour les effets sans seuil (cancérogènes), les expositions sont rapportées sur la vie entière (conventionnellement 70 ans) et pour rappel, l'ERU est la valeur toxicologique de référence pour les effets sans seuil.

Le niveau de risque cancérigène a été comparé à un risque de 1 pour 100 000 (ou 10^{-5}), niveau repère retenu par différentes instances internationales en dessous duquel les risques sont considérés comme non préoccupants (proposition du Haut Conseil de la Santé Publique en France, 2010 (187)) pour la gestion des risques environnementaux). En termes d'interprétation, un excès de risque individuel de 10^{-5} correspond à une probabilité additionnelle inférieure à 0,001 % de développer un cancer au cours de sa vie.

Pour les substances chimiques ne possédant pas de valeur toxicologique de référence (VTR, ERU), les résultats de l'évaluation de l'exposition humaine sont comparés aux valeurs réglementaires (valeurs limites pour la protection de la santé humaine) ou de référence (objectifs de qualité de l'air) disponibles pour le risque.

17.2.3 Analyse de sensibilité de l'évaluation aux incertitudes

L'analyse de la sensibilité aux incertitudes est menée sur chaque étape de l'évaluation.

17.2.3.1 L'analyse des incertitudes sur les émissions chimiques

Les émissions provenant des **gaz d'échappement et du roulage des véhicules** tiennent compte des années du projet global Cigéo les plus fortement émettrices de composés dans l'air en lien avec le nombre de véhicules circulant et les kilomètres parcourus par an. Les estimations les plus fortes sont supposées constantes pendant toute la durée des phases considérées, alors que la circulation des véhicules et engins fluctue d'une année à l'autre pendant la phase de construction initiale et d'une période à l'autre en phase de fonctionnement. Ce choix est majorant pour évaluer les niveaux d'exposition liés à la circulation des véhicules.

Pour les **émissions canalisées**, les valeurs d'émission retenues sont considérées, de façon pénalisante, aux maximum des valeurs limites d'émission en vigueur (cas pour les chaudières et les centrales à béton). Pour les rejets de ventilation de la descenderie de service et des puits (hors ventilation nucléaire), les valeurs maximales admissibles par le code du Travail ont été retenues dans les évaluations, de façon majorante.

Les émissions **d'oxydes d'azotes** ont été assimilées à du dioxyde d'azote, seule espèce d'intérêt sur le plan toxicologique, et qui constitue une hypothèse majorante d'exposition.

Les émissions de **poussières totales** ont été assimilées à des particules fines de 10 µm et 2,5 µm de diamètre appelées respectivement PM_{10} et $PM_{2,5}$. Ce choix est majorant en termes d'évaluation de l'exposition aux poussières.

Les composés organiques volatils (COV) et les hydrocarbures provenant des gaz d'échappement des véhicules sont 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 composés organiques volatils. Ce choix tient compte de la réglementation en vigueur sur les teneurs maximales en benzène utilisé comme additif dans les carburants ne devant 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 (7)). Au niveau des gaz d'échappement, la présence de benzène semble être pour 50 % liée à la combustion d'autres composés aromatiques dans les carburants (cf. avis relatif au benzène dans les carburants de la commission de la Sécurité des consommateurs, (188)). 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. Enfin l'hypothèse d'assimiler en totalité les COV au Benzène (taux de 100 %) conduirait pour les populations les plus exposées situées à l'Hôtel-restaurant du Bindeuil à des indicateurs (QD< 0,004 ou ERI <10^{-6}) toujours inférieurs aux valeurs repères de risque sanitaire.

17.2.3.2 L'analyse des incertitudes sur la dispersion atmosphérique

Les modèles 2D appliqués par le logiciel de dispersion atmosphérique Impact™ développé par ARIA Technologie (4) sont des modèles de type gaussien. Ils mettent en jeu un ensemble d'hypothèses permettant de reproduire de manière simplifiée le phénomène de dispersion Tous les modèles gaussiens, peuvent être utilisés pour la modélisation autour de sites situés dans des reliefs peu accidentés et sur lesquels les conditions météorologiques sont homogènes. Le logiciel Impact™ est un outil de référence de nombreuses installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Les résultats sont valables pour des distances supérieures à 100 m du point d'émission, notamment en cas de présence de bâtiments. Par ailleurs, au-delà de la dizaine de kilomètres, les résultats présentent plus d'incertitudes car d'autres phénomènes de turbulence et de diffusion peuvent être considérés. Les calculs présentés se situent dans le domaine de validité des modèles à savoir dans la fourchette de distance 100 m – 10 km. La pertinence des modèles gaussiens n'est pas remise en cause, cependant, il est important de signaler que les résultats obtenus par différents logiciels de simulation (ADMS, IMPACT…) représentent environ d'un ordre de grandeur d'incertitudes dans l'évaluation des concentrations massiques des polluants conventionnels.

17.2.3.3 L'analyse des incertitudes sur l'exposition humaine

Il a été retenu un scénario correspondant à la présence de population 24 heures sur 24 heures, 365 jours par an sur l'aire d'étude. Ce scénario n'est peut-être pas représentatif de la population de l'aire d'étude qui peut être amenée à quitter l'aire d'étude régulièrement pour le travail ou les vacances par exemple. Toutefois cette hypothèse très majorante permet de prendre en compte les cas extrêmes pouvant exister au sein de la population (personnes âgées peu mobiles par exemple, agriculteurs locaux).

17.2.3.4 L'analyse des incertitudes sur le risque sanitaire

Les valeurs toxicologiques de référence utilisées comme indicateur pour les risques liés aux rejets chimiques sont basées sur des résultats d'études expérimentales (études animales) ou épidémiologiques. Des facteurs d'incertitudes sont utilisées pour majorer les résultats des études à l'origine leurs estimations.

Les polluants chimiques peuvent interagir les uns par rapport aux autres. Si la connaissance des effets sur la santé liés à l'inhalation de chacun d'entre eux a beaucoup avancé, ce n'est pas encore le cas d'un ensemble de polluants. Il est donc impossible de savoir si leurs effets sanitaires sont antagonistes, synergiques ou additifs. Les effets cumulés du monoxyde de carbone et du benzène ne sont pas évalués. Les risques sanitaires associés à ces deux polluants sont extrêmement faibles. Les valeurs toxicologiques de référence de ces deux polluants concernent des effets et des organes cibles différents. Aucun risque sanitaire lié à un effet cumulé de ces polluants n'est redouté.

17.2.4 Conclusion

L'analyse de sensibilité à ces incertitudes, restituées dans le tableau 17-14 ci-dessous, vise à vérifier la fiabilité des évaluations réalisées.

Tableau 17-14 Analyse de sensibilité aux incertitudes sur l'évaluation des incidences liées aux émissions chimiques sur la santé humaine

Étape	Hypothèse retenue	Commentaire	Incertitude
Définition des émissions	Détermination des agents chimiques dangereux à partir d'une analyse exhaustive des sources d'émissions : verses, engins et véhicules de circulation, chaudières, centrale à béton etc.	Caractérisation des émissions possibles en regard de la réglementation et de l'analyse bibliographique.	Faible
	Utilisation de composés traceurs	Comportement identique à la famille de composés chimiques pour la dispersion et l'évaluation des risques.	Faible
Définition des populations exposées	Groupes de population : adulte. Temps d'exposition (24 h/24 h, 7 jours sur 7 jours et 35 jours)	Les indicateurs de risques (VTR) ne sont définis que pour l'adulte pour les composés chimiques.	Faible
Hypothèses de dispersion et d'exposition humaine	Choix des points récepteurs Direction et vitesse du vent Relief et obstacles Fréquence et intensité des pluies Vitesse spécifique de sédimentation	Localisations des cibles existantes aux points les plus exposés aux vecteurs Données locales disponibles	Faible
Épidémiologie/Étude expérimentale	Valeurs de référence pour le risque systémique Valeurs de référence pour le risque cancérogène	Les facteurs d'incertitude intégrés sont intégrés dans les valeurs de référence. En leur absence, les valeurs réglementaires ont été utilisées pour la comparaison	Faible sur les paramètres disposant de valeurs de référence Modéré pour les valeurs réglementaires
Modélisation de la dispersion atmosphérique	code dispersion gaz et aérosols	Codes robustes au niveau national et utilisés dans leurs limites d'utilisation, avec calage des écarts-type de dispersion basés sur des expérimentations réelles (Pasquill-Turner)	Faible
Caractérisation du risque sanitaire	Utilisation des indicateurs de risque conformément au guide INERIS, pour les effets à seuil et sans seuil	Conclusion de la démarche conforme de l'évaluation du risque sanitaire. Les facteurs d'incertitude sont intégrés dans la démarche	Faible
	Articles R. 221-1 et suivants du code de l'environnement (codifiant le décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 (3) 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)	Facteurs d'incertitude intégrés	Faible

Les incertitudes sont globalement faibles et compensées par des hypothèses majorantes sur les estimations des émissions, des expositions humaines, conférant une bonne fiabilité des résultats de l'évaluation des incidences sur la santé humaine et du risque sanitaire associé.

18

Démarche d'évaluation des incidences après fermeture

18.1 Les scénarios de sûreté 196
18.2 Les évaluations de sûreté 196

Les incidences sur la santé humaine au-delà de la fermeture du stockage sont évaluées par l'Andra conformément à des prescriptions nationales et internationales, notamment le guide de sûreté de l'ASN de 2008 relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (189).

La démarche associée pour évaluer ces incidences repose en premier lieu sur la définition de scénarios de sûreté puis, en second lieu sur l'évaluation quantitative des nuisances sur l'homme apportées par le stockage pour ces dits « scénarios ».

18.1 Les scénarios de sûreté

Les scénarios de sûreté sont définis pour représenter la manière dont les éléments radioactifs et les substances chimiques toxiques contenus dans les déchets sont susceptibles d'arriver jusqu'à l'homme.

L'élaboration des scénarios de sûreté s'appuie sur une connaissance approfondie des phénomènes qui se déroulent dans le stockage et son environnement en fonction du temps. Elle prend en compte des hypothèses prudentes en regard de l'état de cette connaissance et des incertitudes résiduelles associés.

En cohérence avec le guide de sûreté de l'ASN de 2008 (189), la méthodologie mise en œuvre par l'Andra distingue :

- un scénario qui vise à représenter l'évolution normale du stockage à long terme une fois fermé en se fondant sur l'analyse de l'état de la connaissance scientifique et technologique sur les comportements du Callovo-Oxfordien et des composants du stockage tels qu'envisagés. Il vise à vérifier le bon fonctionnement du stockage dans le temps ;
- un ensemble de scénarios qui permet de couvrir différentes déviations de cette évolution normale en prenant en compte d'éventuels « aléas » :
  - ✓ internes au stockage comme la perte de fonction de scellements ;
  - ✓ externes au stockage comme une intrusion humaine involontaire dans la zone d'implantation du stockage, par méconnaissance de son existence (le guide de sûreté de l'ASN de 2008 fixe la date d'oubli de l'existence du stockage à 500 ans).

Ces scénarios sont définis dans le but d'étudier et de justifier la robustesse de la démonstration de sûreté du stockage. Leur définition constitue la base fondamentale pour les évaluations quantitatives de la performance des dispositions mises en place vis-à-vis de la protection de l'homme et l'environnement.

Les évaluations quantitatives visent ainsi à mesurer la performance des composants du stockage, en particulier le rôle central de la couche du Callovo-Oxfordien, vis-à-vis de la limitation de la migration des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques contenus dans les déchets une fois relâchés par les colis.

Elles permettent également de visualiser les voies de transfert des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques du stockage jusqu'à l'homme.

Les performances des composants du stockage et les voies de transferts jusqu'à l'homme sont évaluées via un ensemble d'indicateurs appropriés comme les répartitions exprimées en pourcentage des flux entre les ouvrages souterrains et la couche du Callovo-Oxfordien, la cartographie des concentrations en solution dans la couche du Callovo-Oxfordien.

Enfin, l'évaluation quantitative de ces scénarios permet d'apprécier les incidences à long terme du stockage sur l'homme, exprimées en termes de dose.

La définition d'un scénario comprend la description des caractéristiques de la couche du Callovo-Oxfordien, des composants ouvragés du stockage (les scellements par exemple) et de l'environnement du stockage impliqués dans le transfert des éléments nocifs (éléments radioactifs et substances toxiques chimiques) vers l'environnement de surface. La description de ces caractéristiques s'appuie sur une connaissance approfondie de la couche de Callovo-Oxfordien acquise depuis plusieurs années (cf. Chapitre 2.4 du volume II de la présente étude d'impact) et du comportement dans le temps du stockage et de son environnement.

Sur cette base, et la conception affinée à chaque itération de sûreté, une analyse est conduite permettant de définir des scénarios de sûreté et des hypothèses prudentes tenant compte des incertitudes résiduelles, pour représenter le stockage et son évolution dans le temps. Les incertitudes de toutes natures associées sont analysées. Il peut s'agir d'incertitudes résiduelles portant sur la connaissance des colis compte tenu de leur variabilité, de la connaissance de la couche de Callovo-Oxfordien (domaines de valeurs par exemple de perméabilité) et des processus régissant l'évolution du stockage incluant des événements externes futurs d'origine naturelle ou liés aux activités humaines (changements climatiques naturels ou par émission de gaz à effet de serre par exemple). À l'issue de cette analyse, la liste des scénarios est établie et les scénarios définis sont ensuite évalués quantitativement (cf. volume III du Dossier d'option de sûreté – partie après fermeture (190)).

18.2 Les évaluations de sûreté

À chaque itération de sûreté (cf. Chapitre 2.4 du volume II de la présente étude d'impact), les évaluations quantitatives portent en priorité sur l'appréciation de l'incidence de la nuisance apportée par les éléments radioactifs et les substances chimiques toxiques, contenus dans les déchets radioactifs stockés.

Pour réaliser ces évaluations, sur la base de la description des scénarios de sûreté ; une première étape dite de « conceptualisation » de ces scénarios est menée. Cette conceptualisation permet de représenter l'ensemble des échelles d'espaces à considérer ; les différents « compartiments » du stockage, de la couche du Callovo-Oxfordien et son environnement.

Les évaluations quantitatives se fondent ensuite sur l'utilisation d'outils numériques capables de modéliser et de quantifier le relâchement des colis, la migration des éléments radioactifs (radionucléides) et des substances chimiques toxiques dans les ouvrages souterrains, dans la couche du Callovo-Oxfordien puis les formations encaissantes de la couche du Callovo-Oxfordien (Formations Dogger et Oxfordien) jusqu'à des exutoires (lieux de prélèvement possible d'eau par pompage). Les données de sortie de cette étape dite de « simulation » permettent d'évaluer quantitativement les indicateurs de performances et les concentrations des éléments radioactifs arrivant potentiellement aux exutoires en surface (cf. Figure 18-1).

Dans le dossier d'options de sûreté, les prélèvements d'eau par pompage (forages) sont considérés comme pouvant intervenir dans les formations géologiques suivantes :

- les Calcaires du Dogger après un transfert vers les formations situées sous la couche de Callovo-Oxfordien dans laquelle est implanté le stockage soit à l'est de la zone qualifiée de fracturation diffuse ;
- les Calcaires du Barrois après un transfert vers les formations situées au-dessus de la couche de Callovo-Oxfordien.

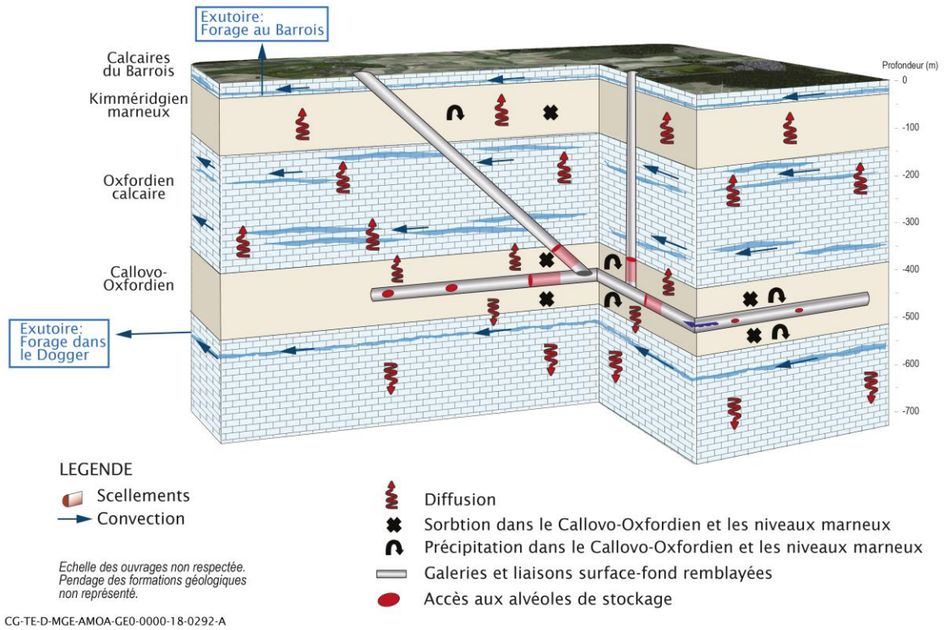


Figure 18-1 *Représentation schématique des différentes voies de migration des radionucléides depuis les colis jusqu'aux exutoires*

L'évaluation de l'incidence sur la santé humaine est ensuite réalisée en considérant les différentes voies de transfert jusqu'à l'homme (irrigation, eau de boisson, abreuvement des animaux...) via un compartiment dit « biosphère » qui est le dernier maillon pour transformer la concentration, exprimée en Bq/L dans l'eau prélevée à l'exutoire en exposition humaine, dose sur le groupe de personnes considéré, exprimée en mSv/an (cf. Figure 18-2).

Cette évaluation est effectuée, conformément au guide de sûreté de l'ASN de 2008 (189) et aux pratiques internationales (181), en considérant plusieurs biosphères « types » afin de prendre en compte les évolutions climatiques prévisibles, incluant notamment les effets des émissions de CO_2 liées aux activités humaines. Compte tenu des longues échelles de temps associées à Cigéo, deux biosphères sont considérées dans les évaluations du dossier d'options de sûreté, la première dite « tempérée » et la seconde extrême, qualifiée de « biosphère chaude », « de type subtropical humide ». La considération de ces biosphères types permet de tenir compte de l'influence des différents niveaux d'irrigation des cultures et des jardins potagers (les biosphères chaudes nécessitant plus d'arrosage l'été) et des différents régimes alimentaires (le régime alimentaire de biosphères chaudes comprenant plus de fruits et de légumes par exemple) en fonction des évolutions climatiques prévisibles sur ces échelles de temps.

Pour chacune de ces biosphères types, des groupes de personnes intégrant des adultes et des enfants et tenant compte d'activités susceptibles de conduire à des voies d'exposition potentielles sont définis. Une fois le stockage fermé, il s'agit des potentialités d'usage de l'eau, à savoir :

- un groupe de personnes qui utilise le pompage dans l'eau des Calcaires du Barrois pour boire (eau de boisson), pour irriguer de grandes cultures céréalières et son jardin potager et pour abreuver les animaux (élevage bovins et animaux de basse-cour) ;
- un groupe de personnes qui utilise l'eau des Calcaires du Dogger pour boire (eau de boisson) et abreuver les animaux et pour irriguer les jardins potagers (du fait de la faible productivité des Calcaires du Dogger, l'irrigation de cultures céréalières n'est pas envisagée).

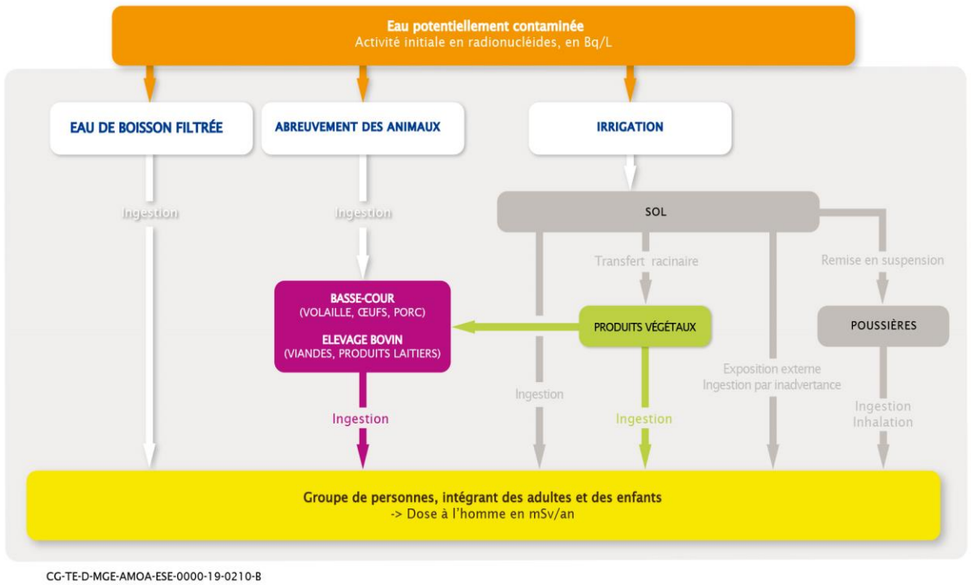


Figure 18-2 *Illustration des voies de transfert à l'homme*

Conformément à l'approche prudente usuelle pour ce type d'études sur de longues échelles de temps, il est fait l'hypothèse que ces groupes consomment en autarcie complète les divers produits animaux et végétaux issus de leurs activités même si ce n'est pas le cas aujourd'hui pour les populations locales.

Il est également considéré deux voies d'exposition sur l'homme :

- une exposition externe liée à l'irradiation induite par les eaux utilisées provenant d'un forage (eaux supposées être contaminées sur le plan radiologique) du fait de leurs activités à l'extérieur ;
- une exposition par l'inhalation de poussières (contaminées sur le plan radiologique ou toxicologique) issues du sol irrigué avec de l'eau provenant du forage et remises en suspension pendant le labour ou le jardinage.

Pour évaluer la nuisance principale qu'est la radioactivité, les doses efficaces calculées pour ces groupes de personnes sont comparées aux contraintes de doses fixées par le guide de sûreté de l'ASN de 2008 (0,25 mSv/an pour le scénario d'évolution normale et effets déterministes pour les autres scénarios). Ces doses calculées à long terme sont considérées comme un indicateur, il ne s'agit pas d'une évaluation précise mais d'une appréciation prudente de la dose à laquelle la population serait potentiellement exposée selon ses activités en particulier les usages de l'eau, qui est le principal vecteur à long terme de la migration des radionucléides relâchés par les colis de déchets.

Pour la nuisance associée aux substances chimiques toxiques contenues dans les colis de déchets en tant qu'accompagnants, une étude d'impact sur l'Homme n'est engagée que si leurs concentrations à l'exutoire sont élevées et potentiellement toxiques (supérieurs aux seuils de pollution avérée et significative). Des indicateurs spécifiques à cette phase de caractérisation du risque de pollution, basés sur des Normes de qualité environnementales (NQE), sont utilisés (arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (191), mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique). En cas de dépassement de ces indicateurs, l'impact toxicologique à l'Homme est quantifié par la mise en œuvre d'une évaluation des risques sanitaires selon les recommandations du guide INERIS 2013 (185).

En cohérence avec le guide de sûreté de l'ASN de 2008 (189), l'ensemble de cette démarche, en particulier la vérification du respect des indicateurs de protection radiologiques et toxicologiques pour les différents scénarios étudiés permet de justifier le caractère favorable pour la sûreté des performances des composants contribuant aux fonctions de sûreté, en particulier le rôle central de la couche du Callovo-Oxfordien.

ANNEXES

Annexe 1 Valeur 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 (3) 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[30]	120 µg.m^{-3}	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 h
	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[31]	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

[30] 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.

[31] 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

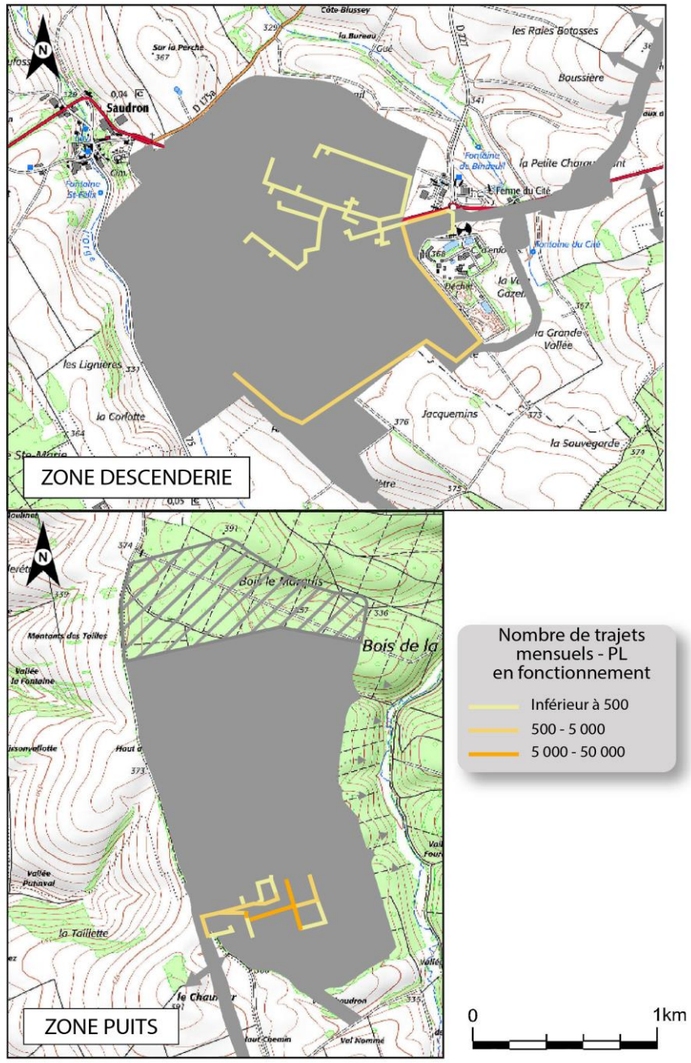
Polluants	Seuil règlementaire	Valeur	Période de calcul de la moyenne
Dioxyde de soufre (SO_2)	Seuil d'alerte	500 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant 3 heures consécutives
	Valeur limite (protection santé humaine)	300 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant 3 heures consécutives
Dioxyde d'azote (NO_2)	Valeur limite pour la protection de la végétation	400 µg.m^{-3}	Moyenne horaire, dépassée pendant 3 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 en phase de fonctionnement

2.1 Caractéristiques des sources linéiques

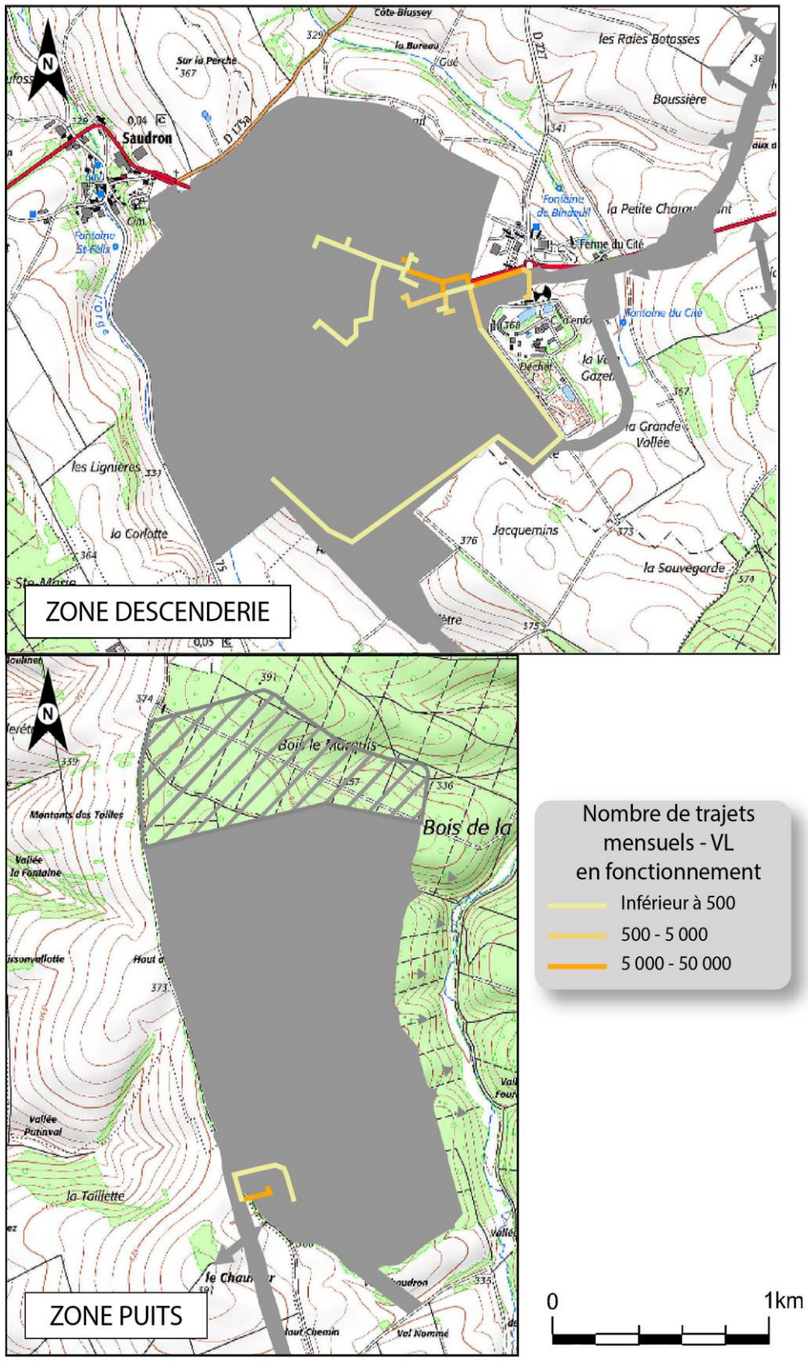
Les données de trafic considérées sur les zones puits et descenderie et utilisées dans la modélisation de dispersion atmosphériques sont présentées sur les figures suivantes.

Les données de trafic à l'extérieure du site sont celles présentées au chapitre 12 du volume IV.



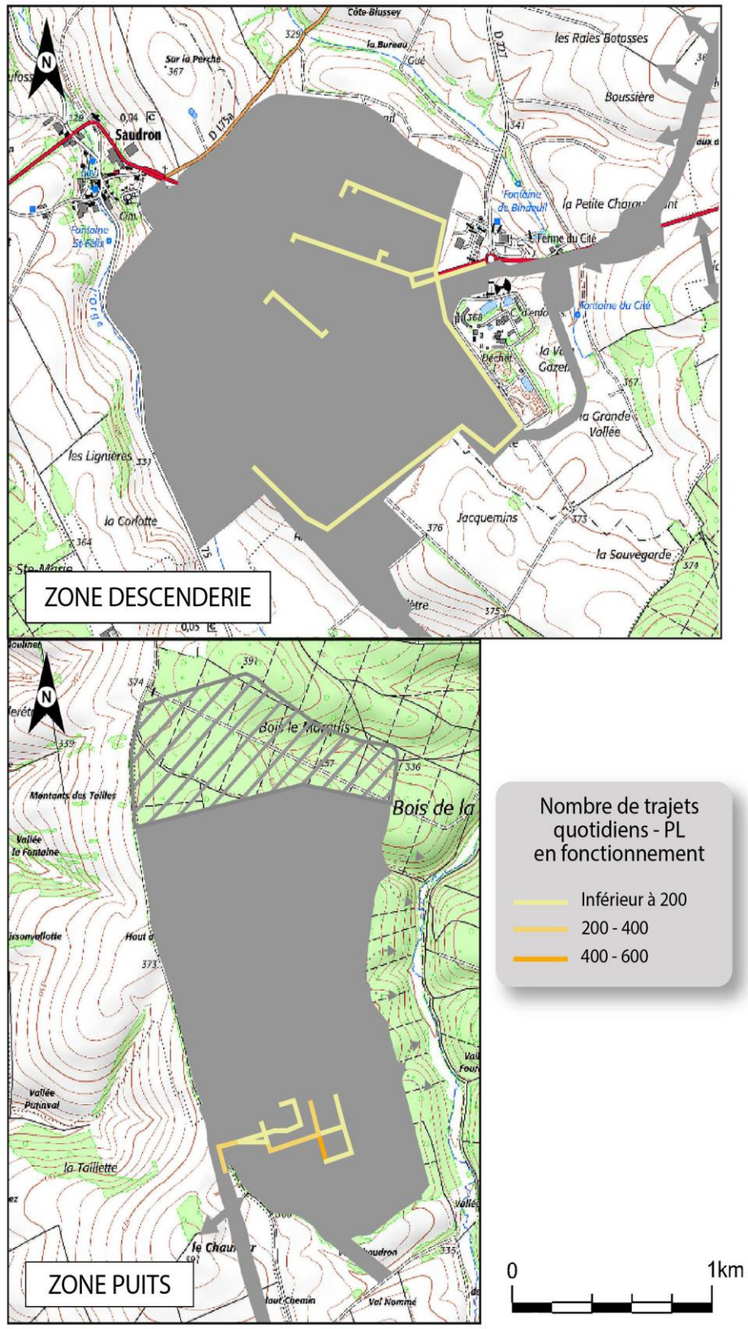
CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-20-0436-A

Figure 18-3 Flux mensuel de PL sur les zones puits et descenderie



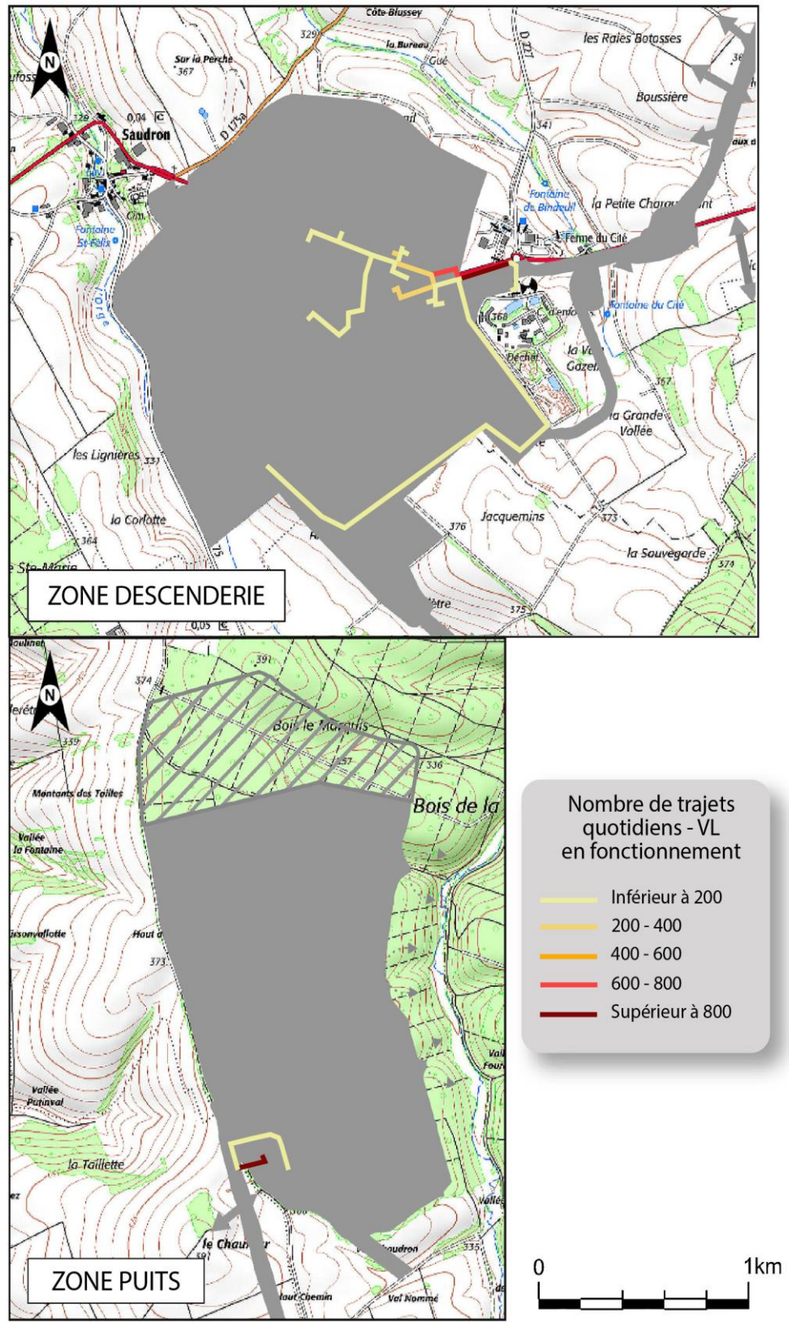
CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-20-0437-A

Figure 18-4 Flux mensuel de VL sur les zones puits et descenderie



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-20-0438-A

Figure 18-5 Flux quotidien de PL sur les zones puits et descenderie



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-20-0439-A

Figure 18-6 Flux quotidien de VL sur les zones puits et descenderie

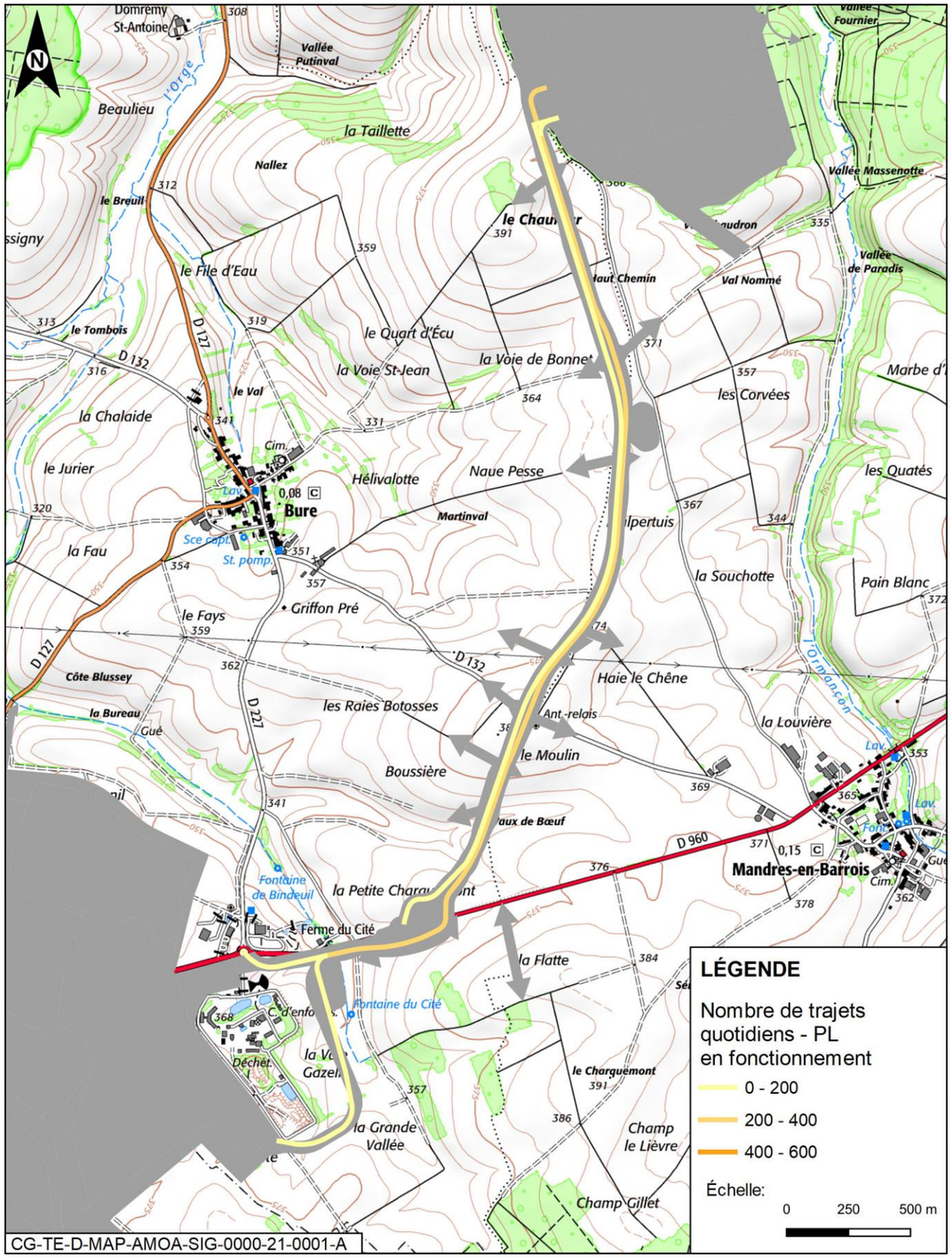


Figure 18-7 *Flux quotidiens PL sur la LIS*

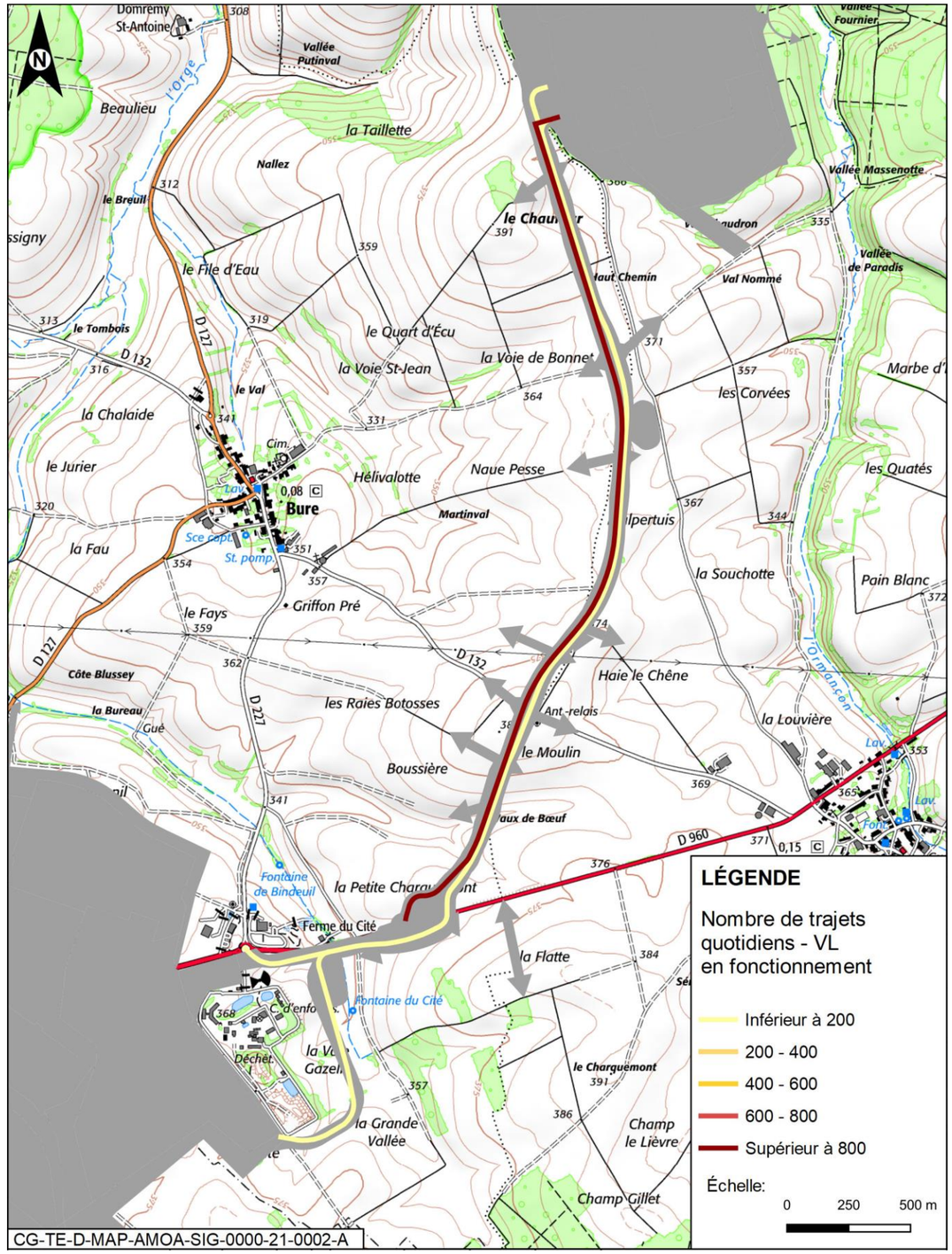


Figure 18-8 *Flux quotidien VL sur le LIS*

La norme utilisée pour la quantification des rejets de polluants est la norme Euro 6 présentée dans le tableau ci- dessous.

Tableau Annexe 2-1 Norme Euro 6 (PL et VL)

Paramètres	VL Diesel	VL Essence	PL
CO (g.km^{-1})	0,5	1	1,5
HC + NOx (g.km^{-1})	0,17	0	
HC (g.km^{-1})	-	0,1	0,13
HCNM (g.km^{-1})	-	0,068	
NOx (g.km^{-1})	0,08	0,06	0,4
Particules (g.km^{-1})	0,005	0,005	0,01
Part considérée (%)	66	33	-

2.2 Caractéristiques des sources surfaciques

Sont appelées « sources surfaciques » en phase de fonctionnement :

- les émissions des engins de chantier nécessaires à la manipulation de stocks (principalement en zone puits),
- l'action du vent sur les zones de stockage des matériaux mettant en suspension dans l'air des poussières.

2.2.1 Émission des engins de chantier

Les données concernant les engins de chantiers pris en compte dans la modélisation sont indiquées dans le tableau annexe 2-2.

Tableau Annexe 2-2 Engins considérés dans la modélisation

Engins	Zone concernée	Nombre d'engins	Puissance (kW)	Norme considérée
Chargeur	Zone puits	3	288	Norme IIIB et Étape IV (cf. Tableau Annexe 2-3)
Bulldozer	Zone puits (verses)	1	268	
compacteur	Zone puits (verses)	1	75	

Tableau Annexe 2-3 Norme d'émission des rejets pour les engins

	Étape III B Réglementation Européenne		Étape IV Réglementation Européenne	
Puissance (kW)	130-560	56-130	130-560	56-130
CO (g/kWh)	3,5	5,0	3,5	5
HC (g/kWh)	0,19	0,19	0,19	
NOx (g/kWh)	2,0	3,3	0,4	
Particules (g/kWh)	0,02	0,02	0,025	
Part considérée d'engin	0,66		0,33	

2.2.2 Surface de stockage des matériaux

Les surfaces prises en compte dans la modélisation permettant d'évaluer la remise en suspension dans l'air des poussières des matériaux stockés sont présentées dans le tableau annexe 2-4.

Tableau Annexe 2-4 Zone de stockage de matériaux pris en compte dans la modélisation

Zone	Surface (m²)*
Zone puits : stockage de matériaux	15 500
Zone puits : stockage de verses	88 000*

** La surface considérée pour les verses correspond à la surface maximale susceptible d'être soumise aux intempéries avant végétalisation.*

2.3 Caractéristiques des sources ponctuelles

L'ensemble des sources ponctuelles prises en compte dans la modélisation en phase d'exploitation est présenté dans les tableaux suivants :

Tableau Annexe 2-5 Chaudières

Puissance (kW)	Puissance (kW)	Hauteur (en m)	Débit maximal de rejet (Nm³/h)	Diamètre (mm)	Température de rejet (°C)	Composés	Valeurs limites de rejet (mg/m³)	Flux (g/h)
Zone descenderie	3 500	18	4500	600	190	Oxyde de soufre	35	157,5
						Oxyde d'azote	100	450
						Poussière	5	22,5
Zone puits	3 500	18	4500	600	190	Oxyde de soufre	35	157,5
						Oxyde d'azote	100	450
						Poussière	5	22,5
	2 500	18	3200	600	190	Oxyde de soufre	35	112
						Oxyde d'azote	100	320
						Poussière	5	16

Tableau Annexe 2-6 Centrale à béton (zone puits)

Localisation	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Température de rejet	Composé	Débit max de rejet (m^3/s)	Valeur limite de rejet (mg/m^3)	Flux (g/h)
Zone puits	10	1	T °C ambiante	poussières	2	100	720

Tableau Annexe 2-7 Émissions des installations souterraines

localisation	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Température de rejet (°C)	Composé	Débit max de rejet ($m^3.s^{-1}$)	Valeur limite de rejet ($mg.m^{-3}$)	Flux (g/h)
Émissions installations souterraines Descenderie de Service (DS)	4,7	4,7 × 3,2	17	Poussières	24,9	10	897
				CO	24,9	55	4 930
				NOx	24,9	30	2 690
				SO_2	24,9	5	448
Émissions installations souterraines zone puits (VVT)	10	3	28	Poussières	296	10	10 656
				CO	296	55	58 608
				NOx	296	30	31 968
				SO_2	296	5	5 328
Émissions installations souterraines zone puits (VVE)	12	4 mono-conduits de 2,2 m de diamètre	17	Poussières	213	10	7 668
				CO	213	55	42 174
				NOx	213	30	23 004
				SO_2	213	5	3 834

Nota : dans le cas des émissions provenant de l'installation souterraine, les flux considérés dans les modélisations reposent sur les VLEP (Valeurs limites d'exposition professionnelle).

Tableau Annexe 2-8 Atelier de maintenance

Localisation	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Température de rejet	Composé	Débit max de rejet (m^3/s)	Valeur limite de rejet (mg/m^3)	Flux (g/h)
Zone puits	10	0,25	T °C ambiante	Poussières	0,5	100	180
				CO	0,5	0,00	$1,8 \times 10^{-5}$
				NOx	0,5	100	180
				SO_2	0,5	300	540
				COV	0,5	1 000	1 800

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

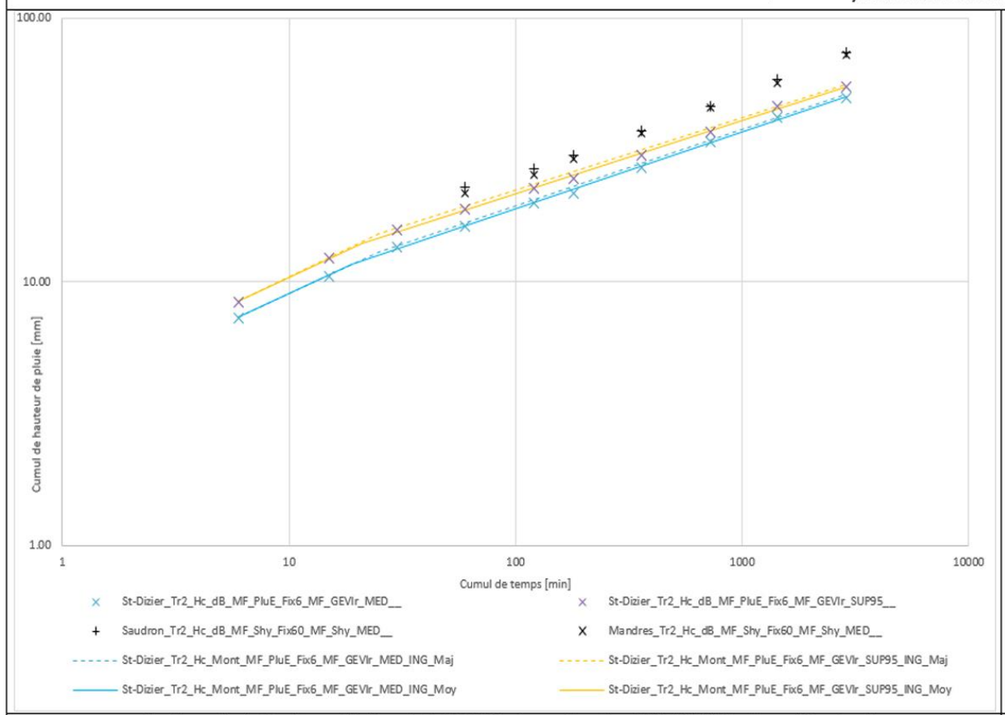
Tableau Annexe 3-1 Résultats – Tableaux des coefficients de Montana

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
St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	2	6	19	3,578	0,600
St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	2	19	2880	4,910	0,708
St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	2	6	25	3,576	0,600
St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	2	25	2880	5,095	0,710
St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	2	6	21	4,054	0,592
St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	2	21	2880	6,052	0,724
St-Dizier_Tr2_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	2	6	25	4,005	0,585
St-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
Cirfontaines_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	28	2880	18,629	0,798
St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	10	6	24	5,177	0,548
St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	10	24	2880	10,282	0,764
St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	10	6	25	5,163	0,546
St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	10	25	2880	10,277	0,760

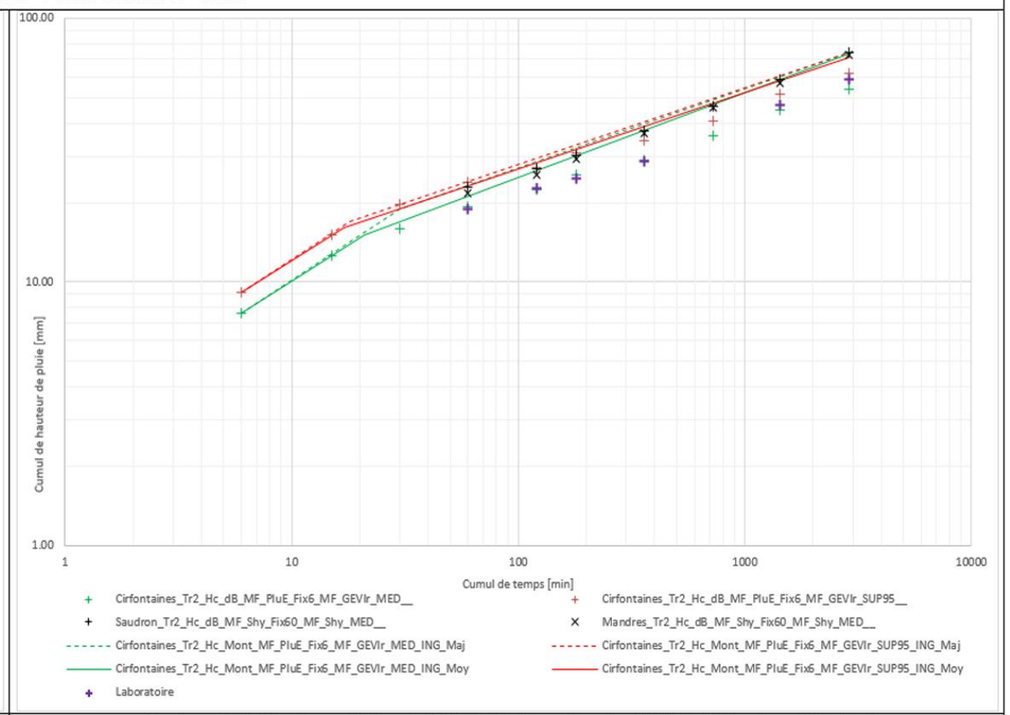
Station	T retour [ans]	Domaine de validité - cumul de temps [min]		a [mm/min]	b [-]
		Borne Inf.	Borne Sup.		
St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	10	6	25	5,902	0,536
St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	10	25	2880	13,040	0,783
St-Dizier_Tr10_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	10	6	25	5,808	0,528
St-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
St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	100	6	29	6,162	0,458
St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Moy	100	29	2880	21,155	0,824
St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	100	6	25	5,661	0,411
St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_MED_ING_Maj	100	25	2880	20,614	0,812
St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	100	6	26	6,499	0,386
St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Moy	100	26	2880	29,030	0,845
St-Dizier_Tr100_Hc_Mont_MF_PluE_Fix6_MF_GEVlr_SUP95_ING_Maj	100	6	27	6,439	0,381
St-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

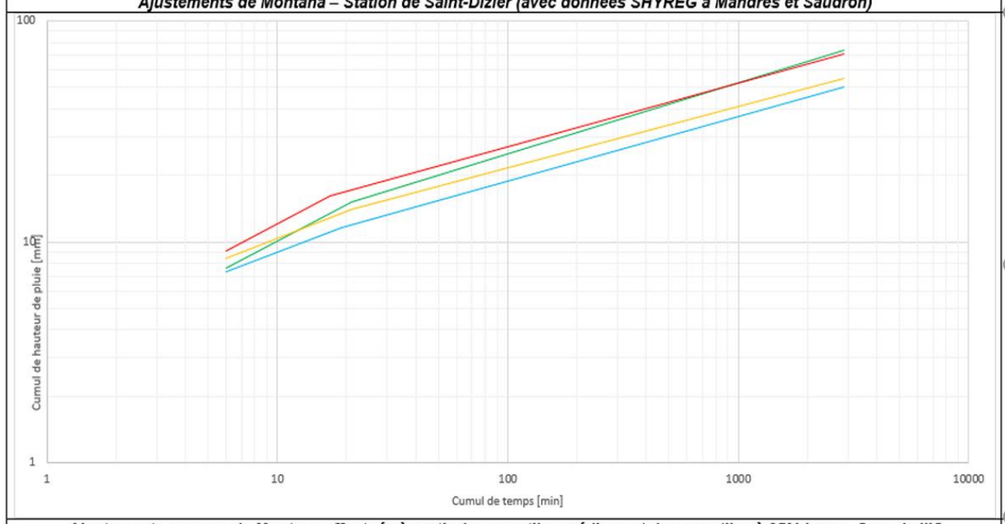
justements de Montana – Période de retour Tr = 2 ans



Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)

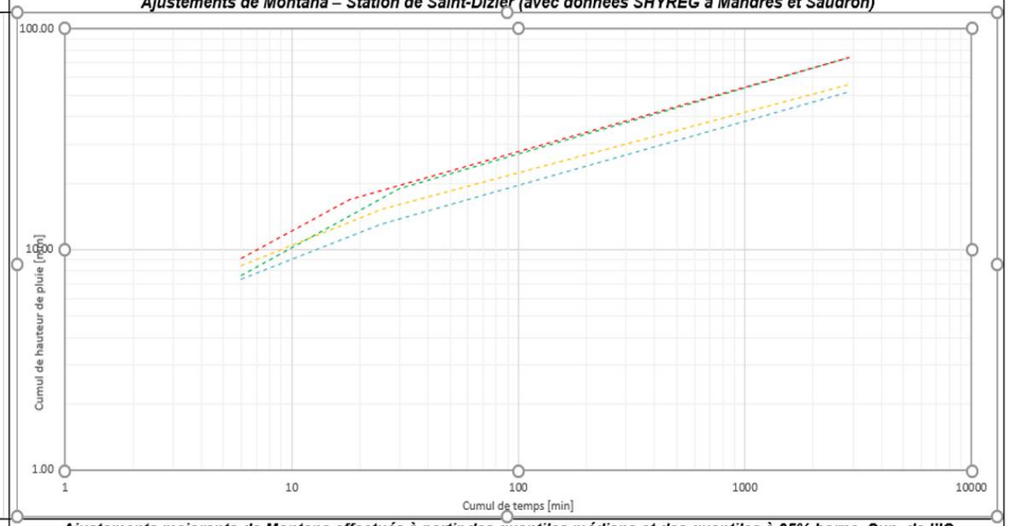


Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)



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 de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)

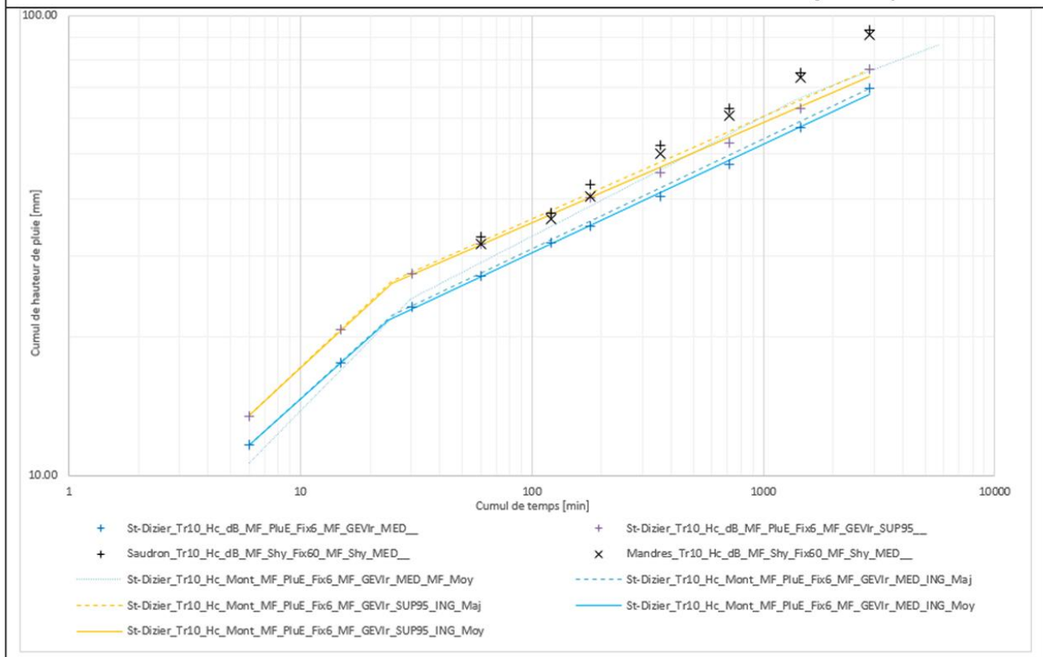


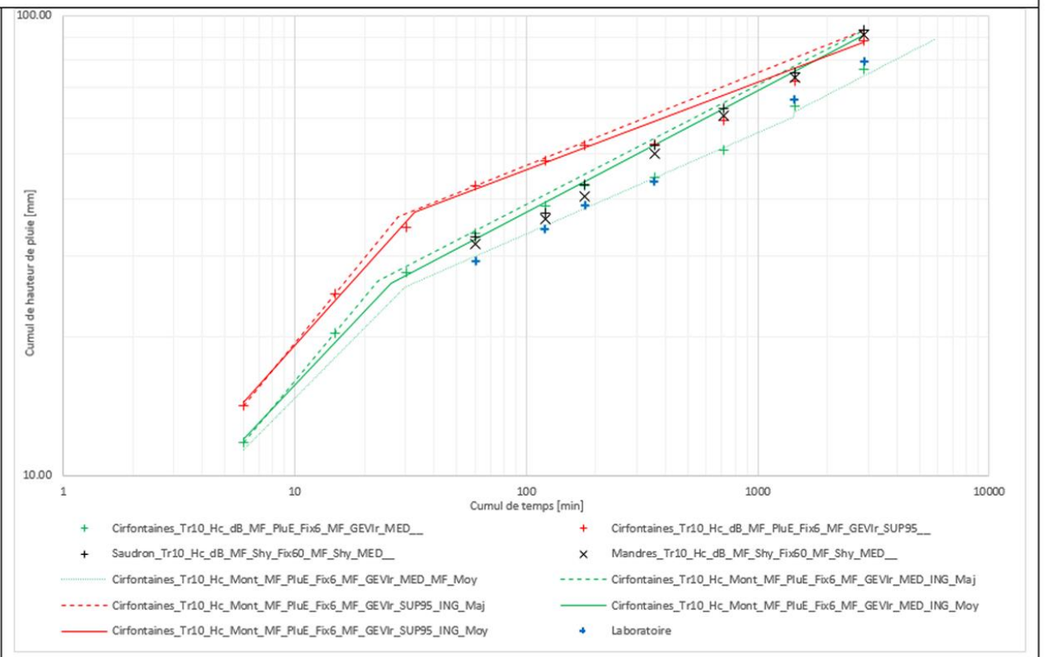
Ajustements majorants de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC (Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)

CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0481-A

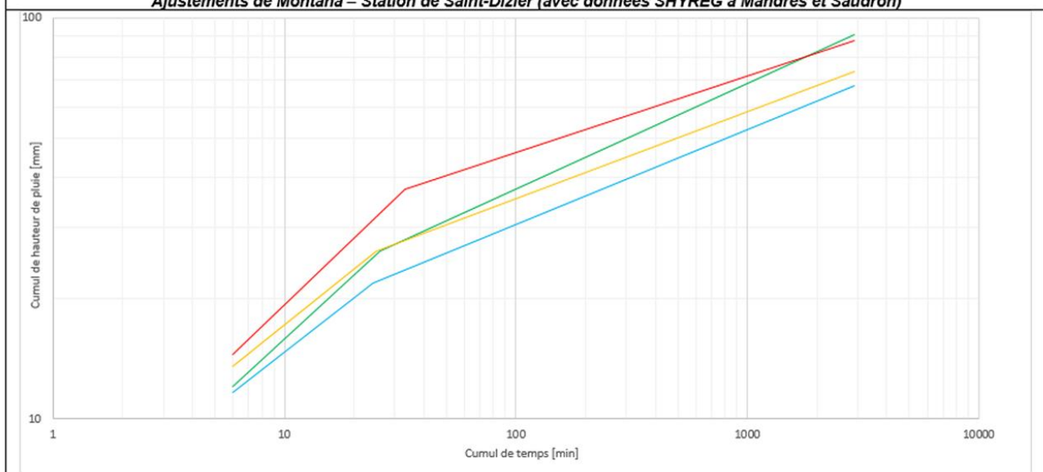
Tableau Annexe 3-3 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 10 ans

Figure 10 : Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 10 ans



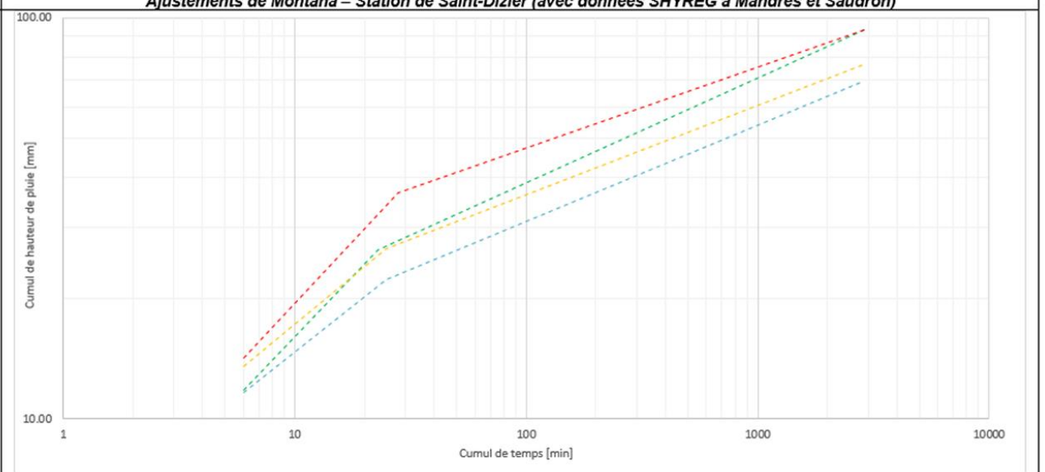


Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)



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)

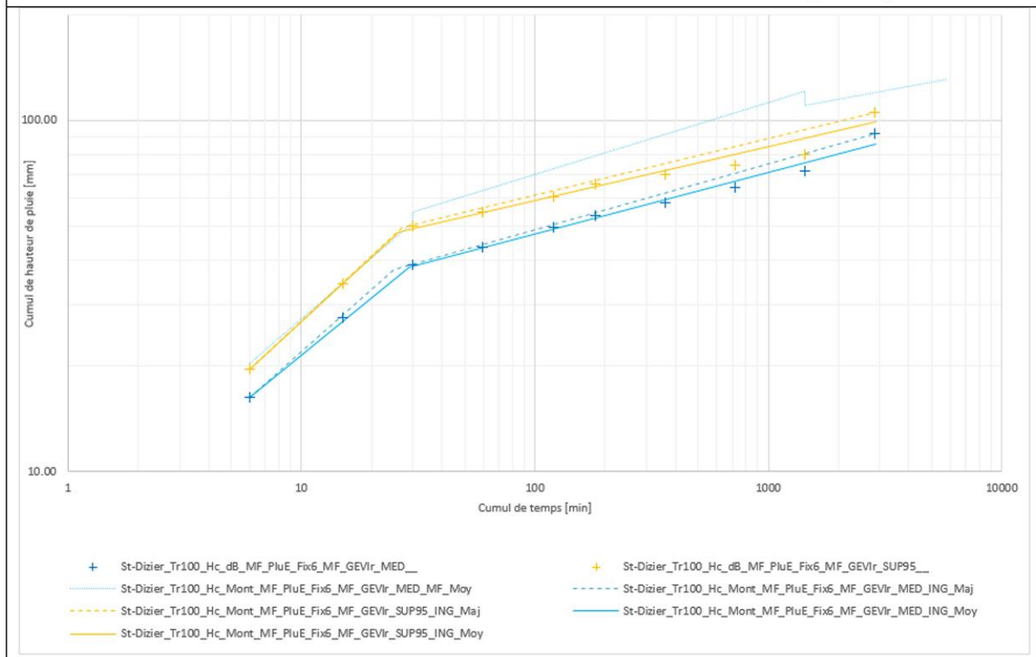


Ajustements majorants de Montana effectués à partir des quantiles médians et des quantiles à 95% borne. Sup. de l'IC (Station de Saint-Dizier et Cirfontaines)

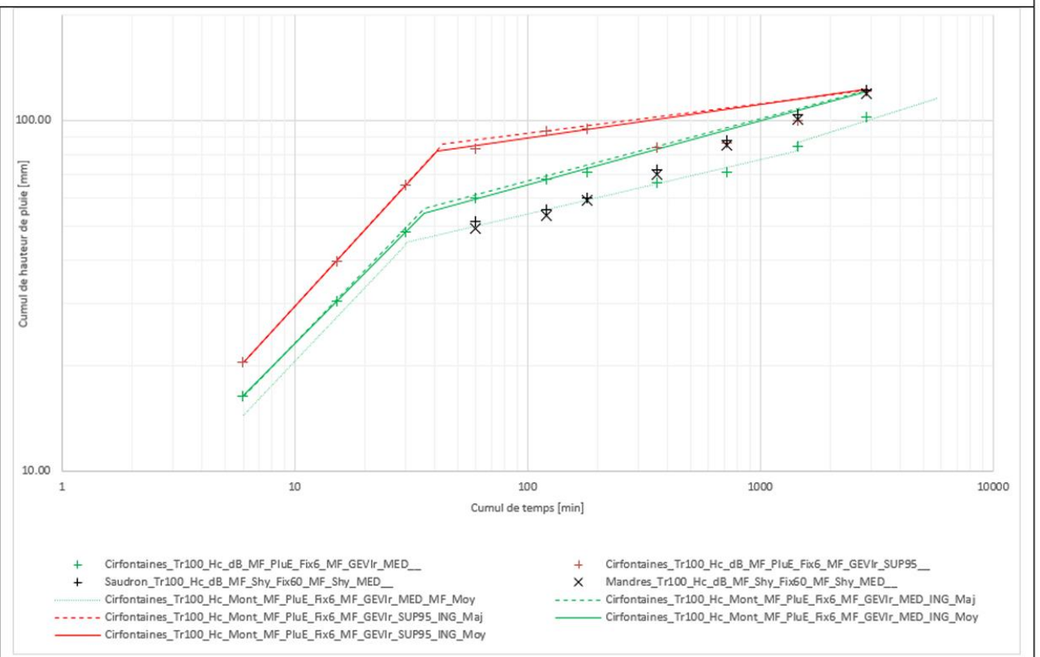
CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0482-A

Tableau Annexe 3-4 Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 100 ans

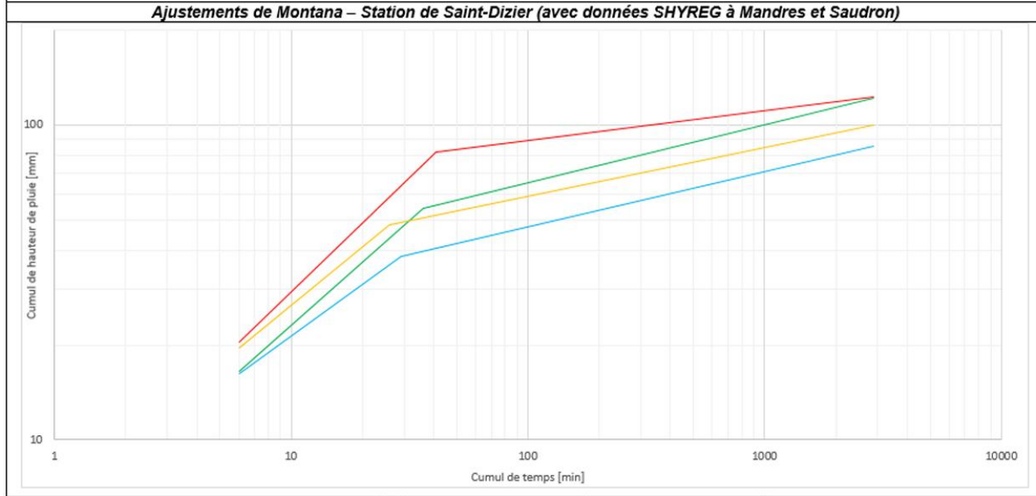
Figure 11 : Ajustements de Montana – Période de retour Tr = 100 ans



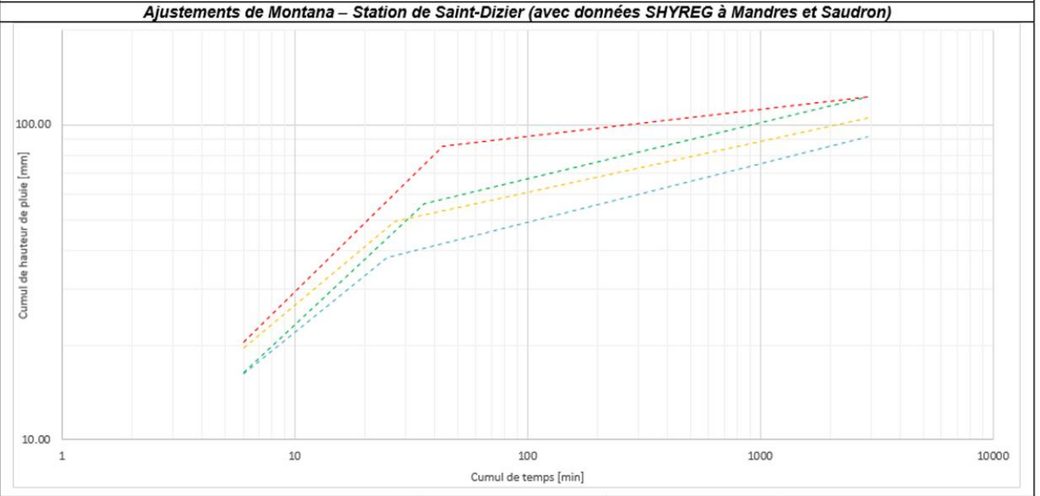
Ajustements de Montana – Station de Saint-Dizier (avec données SHYREG à Mandres et Saudron)



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.

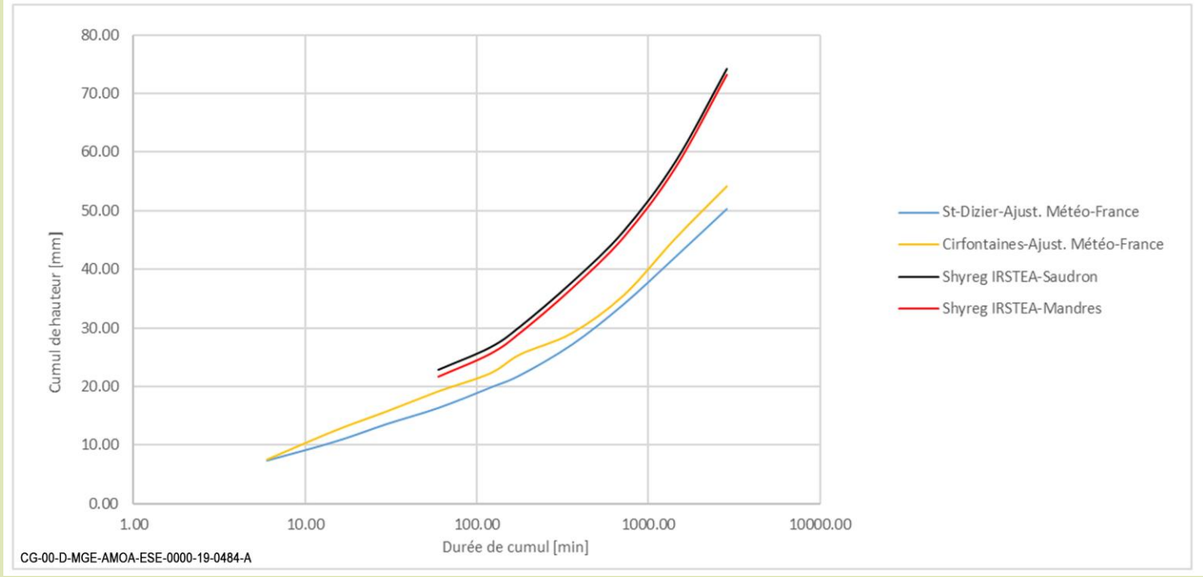
Il ressort de l'analyse de ces données et des graphiques les éléments suivants :

- 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

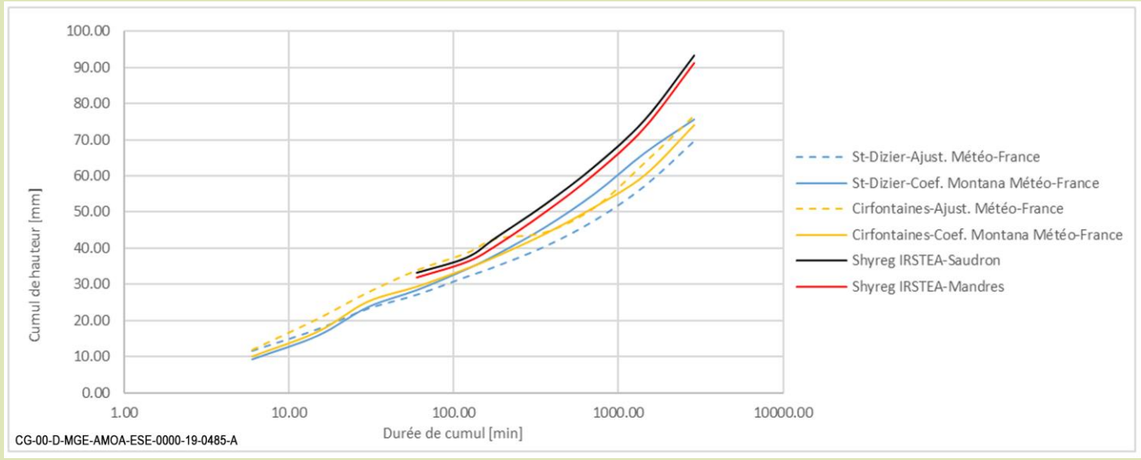
2 ans

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



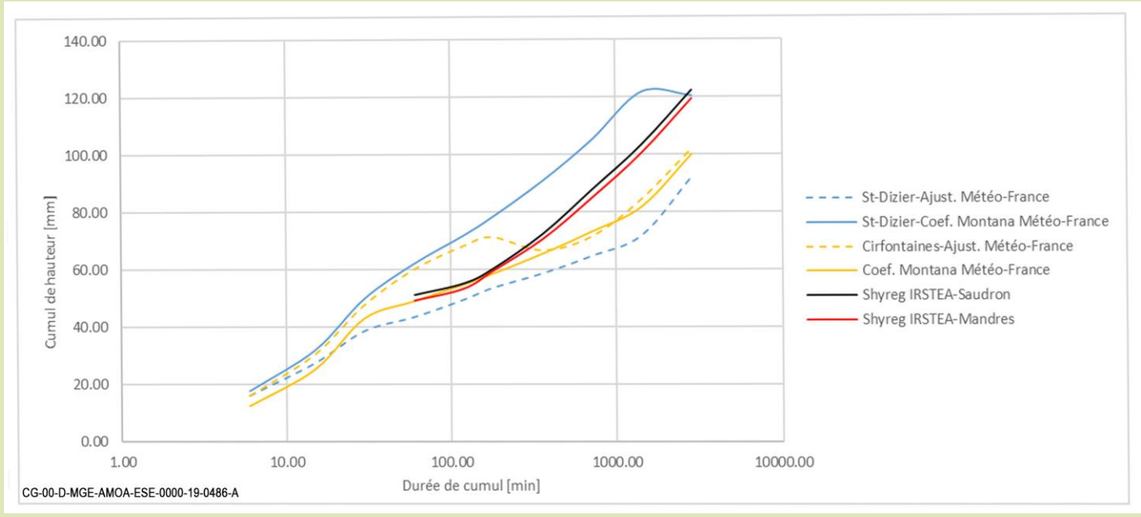
10 ans

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.

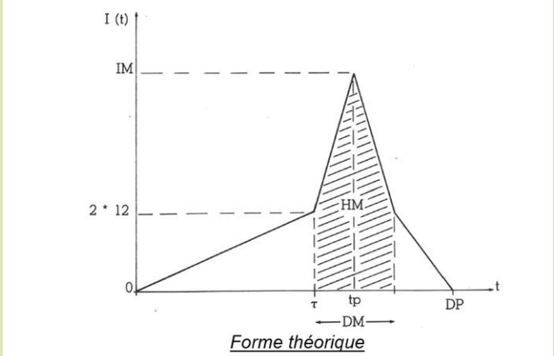
  La conception de cette pluie repose sur le fait que la forme des averses est très variable (et aléatoire) alors que celle des hydrogrammes l'est beaucoup moins, le bassin versant et son réseau de drainage jouant un rôle de filtre. Il convient donc de s'intéresser aux paramètres de la pluie ayant une 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 paragraphe vise à expliciter la méthodologie utilisée pour la définition de ces hyétogrammes de projet et à présenter plusieurs hyétogrammes de pluie.

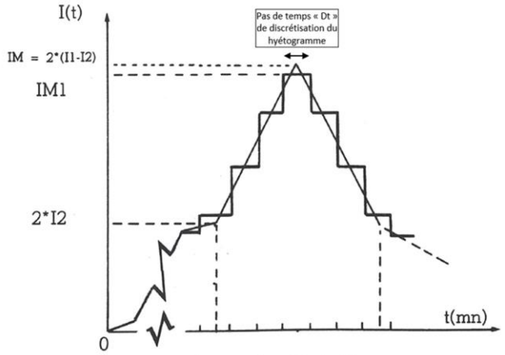
- **Méthodologie**

  Une pluie de projet double-triangulaire se conçoit formellement à partir de la donnée des 5 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



Forme théorique



Forme discrétisée (1)

CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0488-A

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 x I_2
$A(3) = A(2) + \frac{DM}{2}$	O(3) = IM = 2 x (I_1 - I_2)
$A(4) = A(2) + DM)$	O(4) = 2 x 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

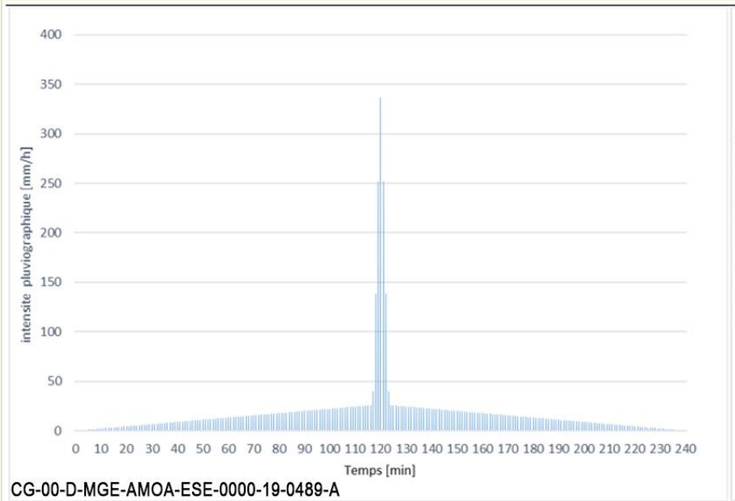
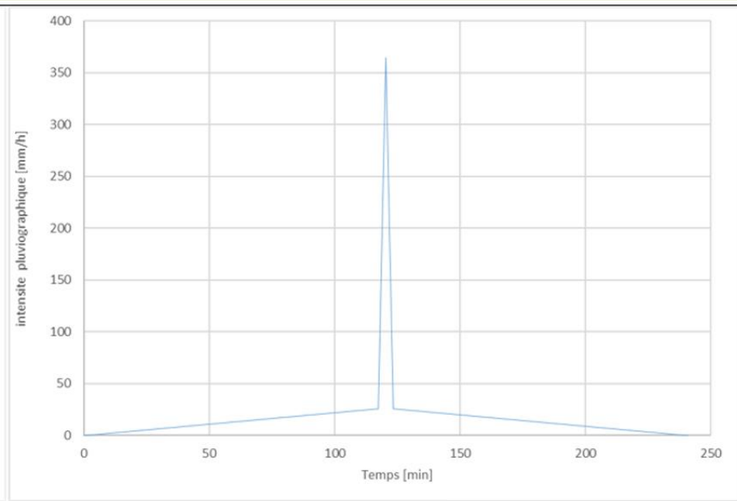
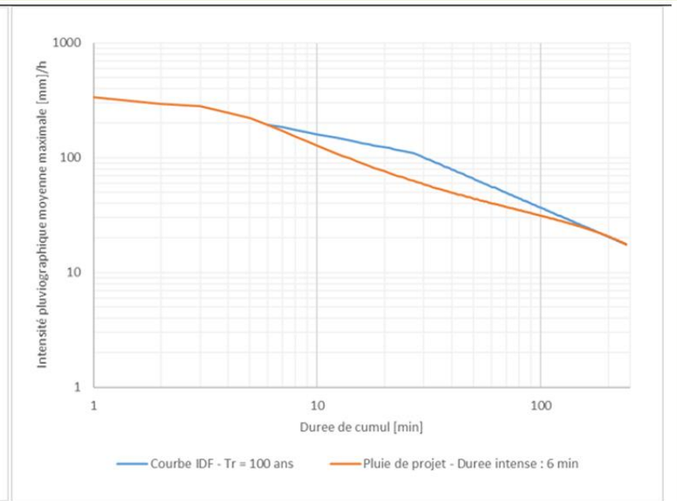
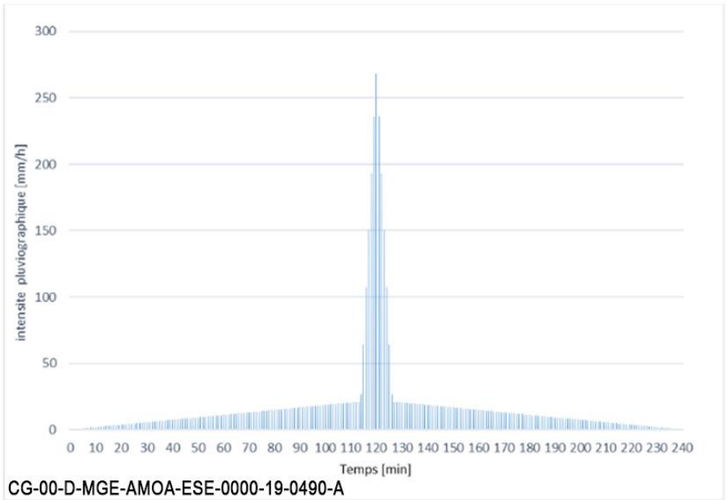
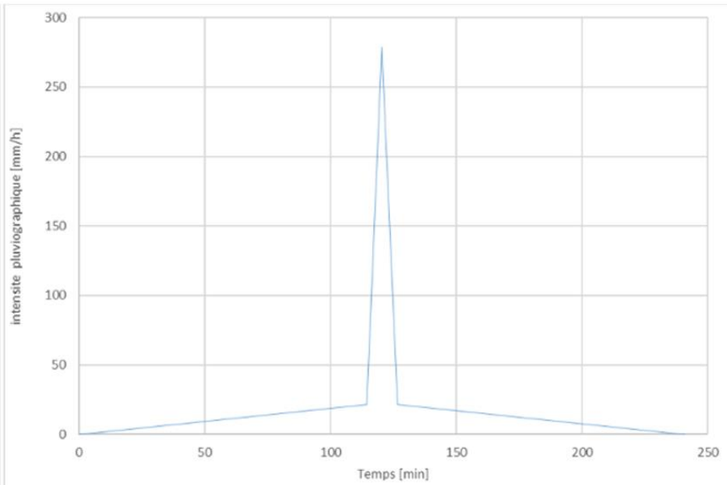
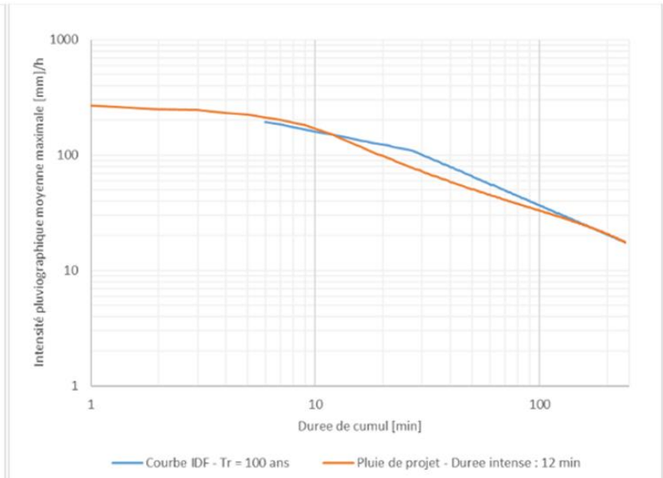
Paramètre de dimensionnement		Calcul	Motivations du choix	Sensibilité du paramètre sur le ruissellement
Forme de la pluie			Toute variable fixée par ailleurs (i.e paramètres HT, HM et Θ), la forme de la pluie (triangulaire ou exponentielle – Keiffer) a peu d'influence sur le débit de pointe obtenu. La 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 dimensionnement relatifs au projet global Cigéo, les valeurs de DM comprises entre 6 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 (cf. paragraphe suivant).	Élevée

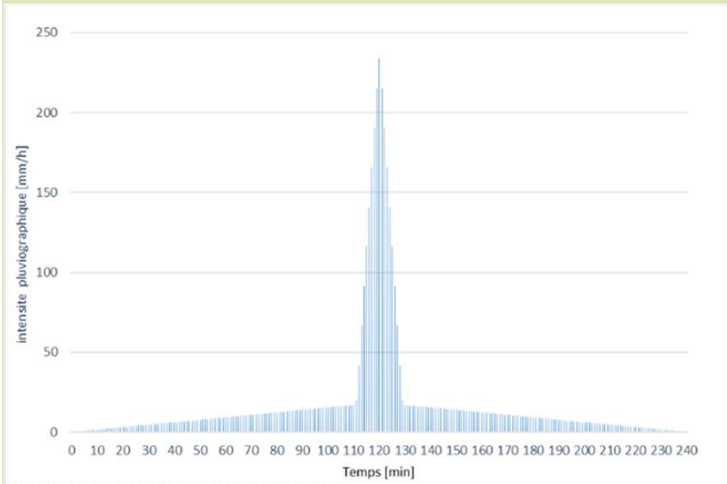
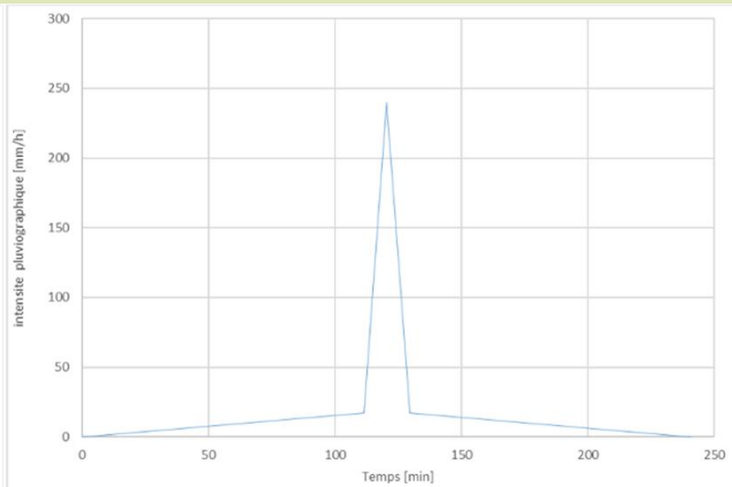
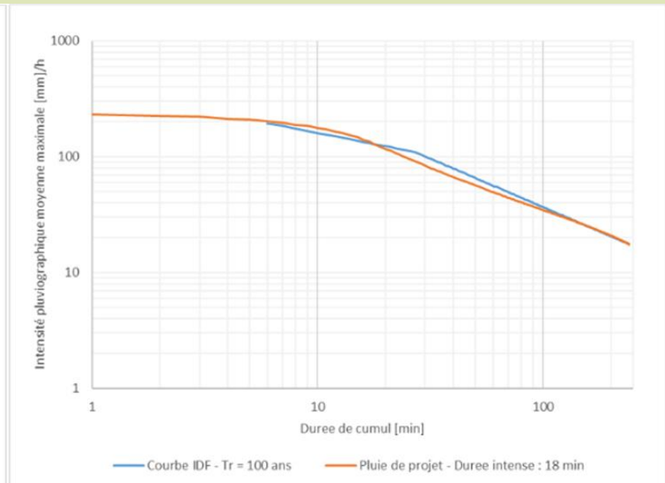
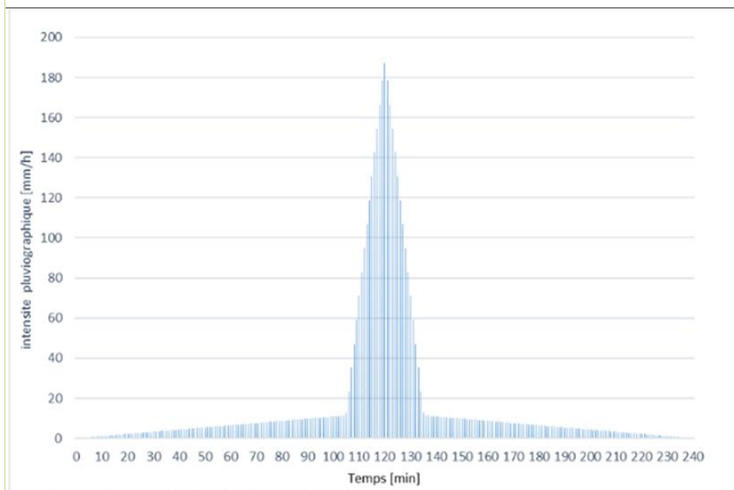
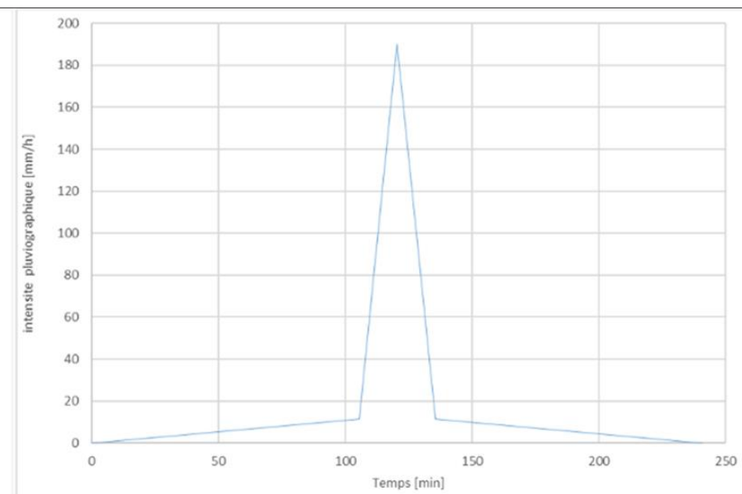
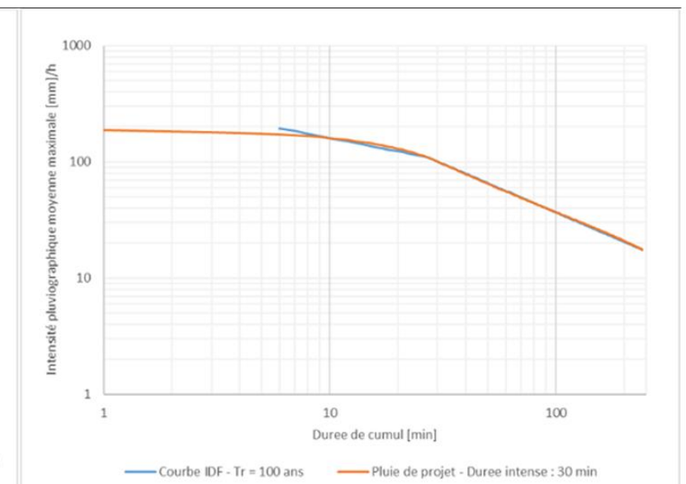
4.1.1 Résultats

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		

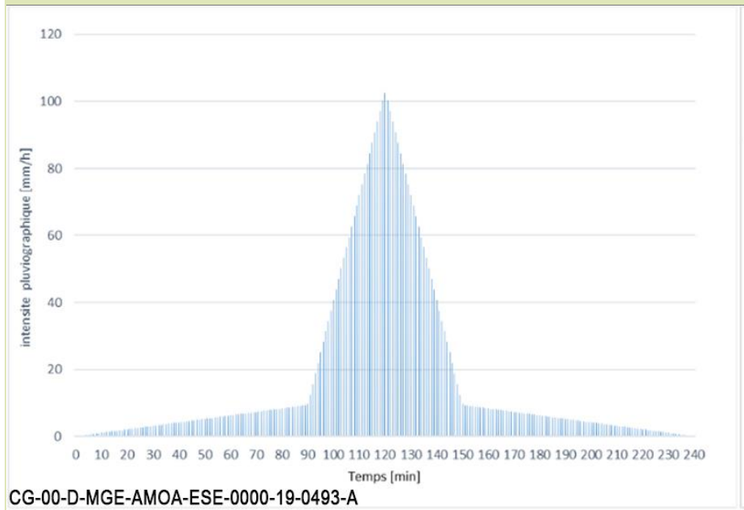
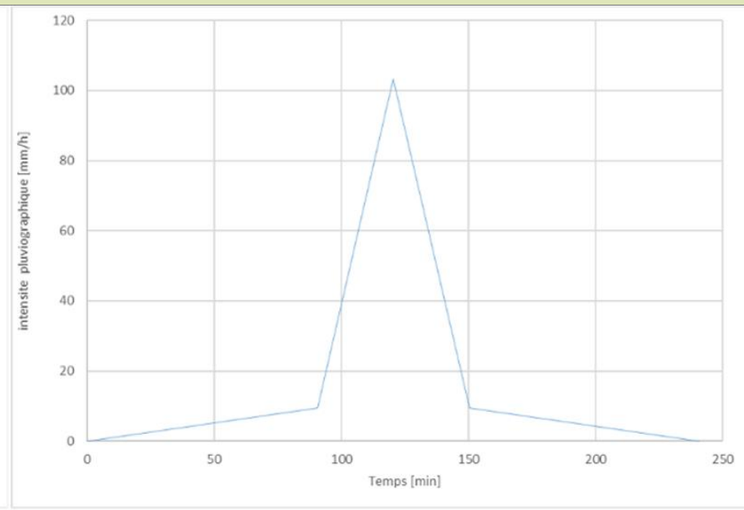
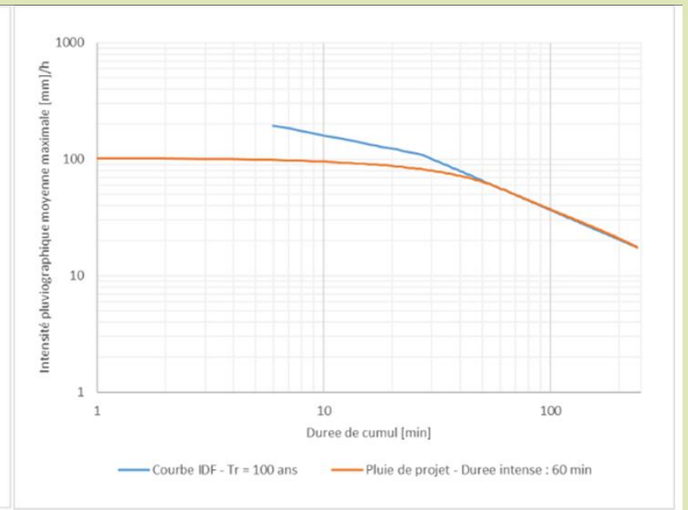
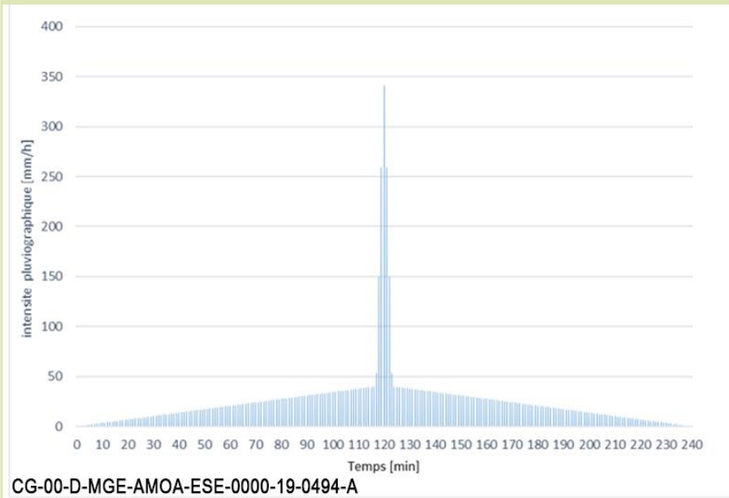
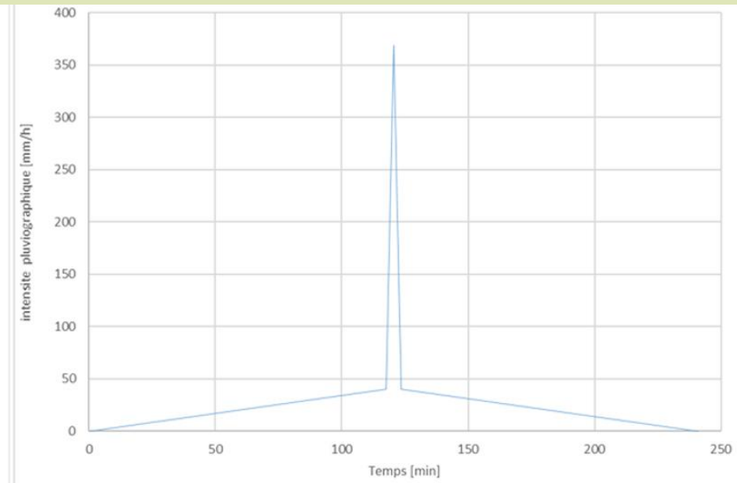
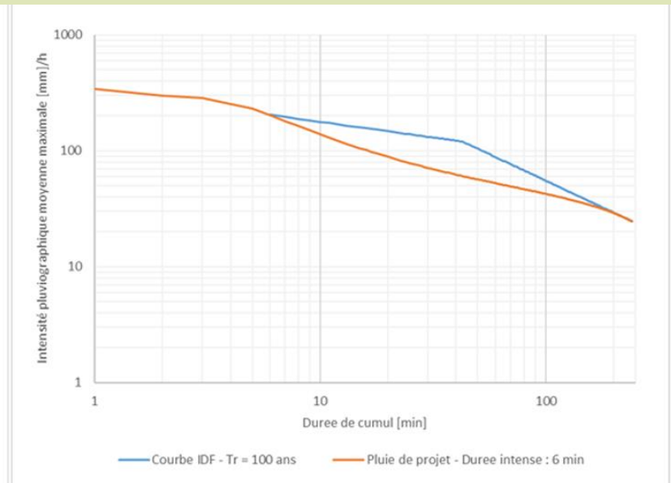
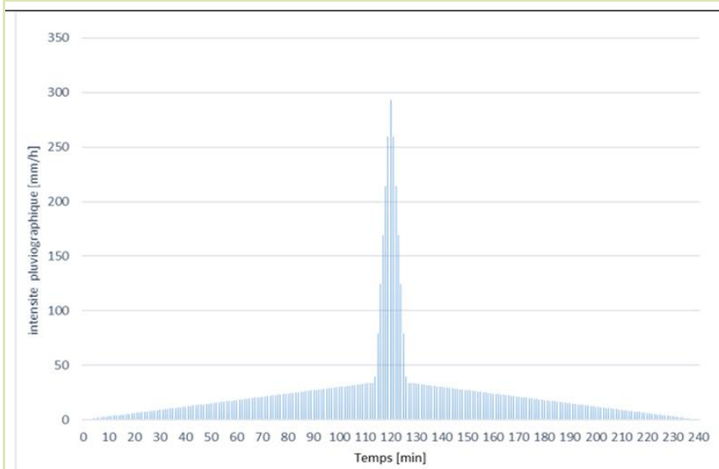
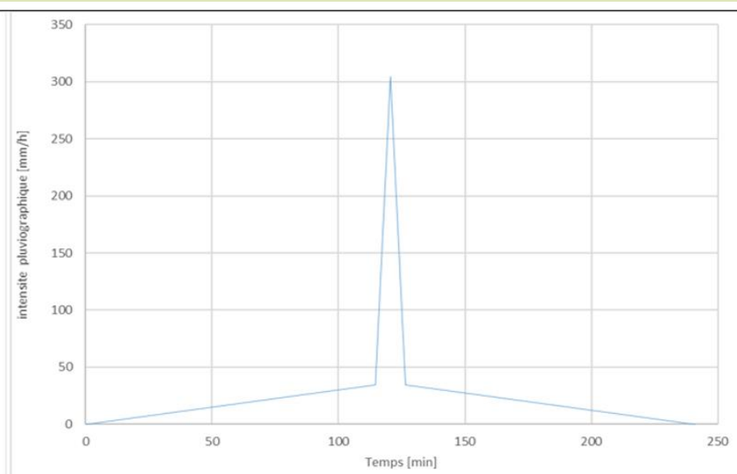
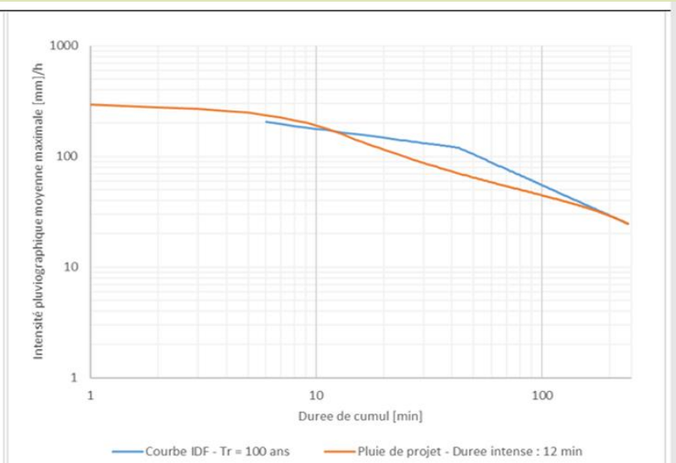
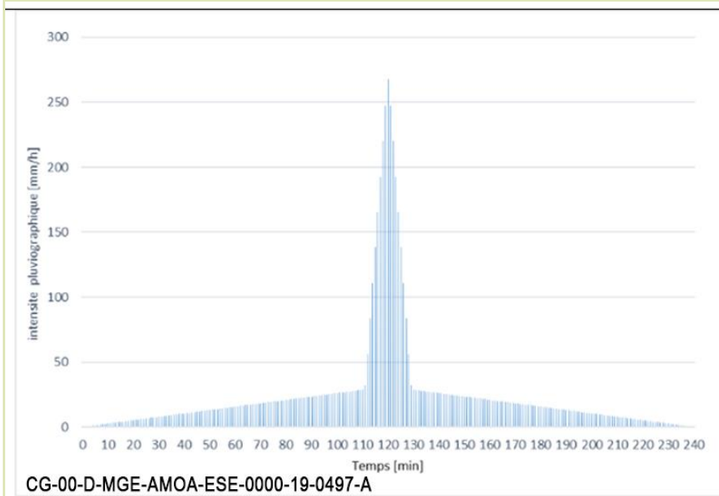
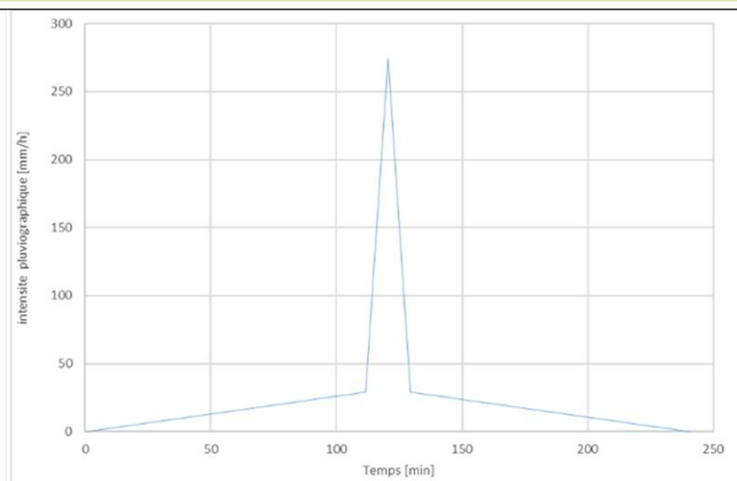
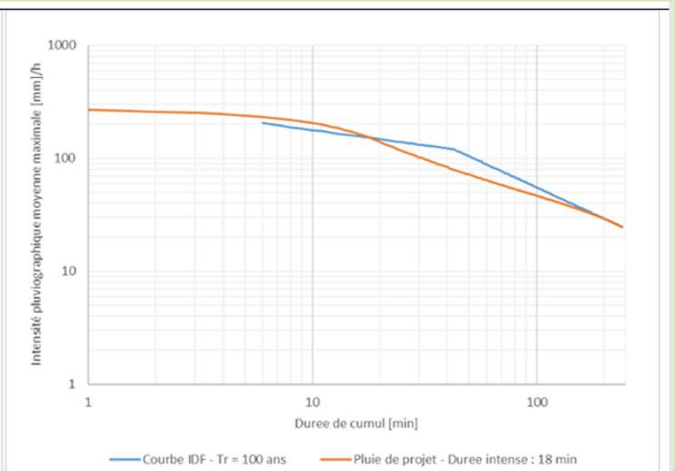
Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisée sur un axe IDF
60	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0493-A		

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		

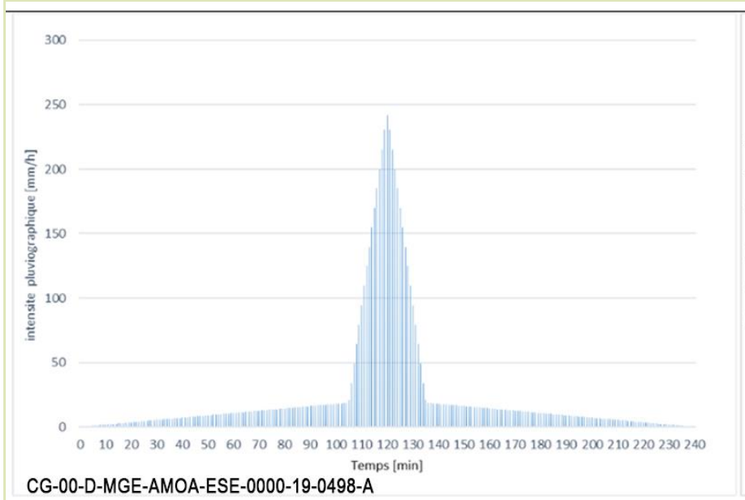
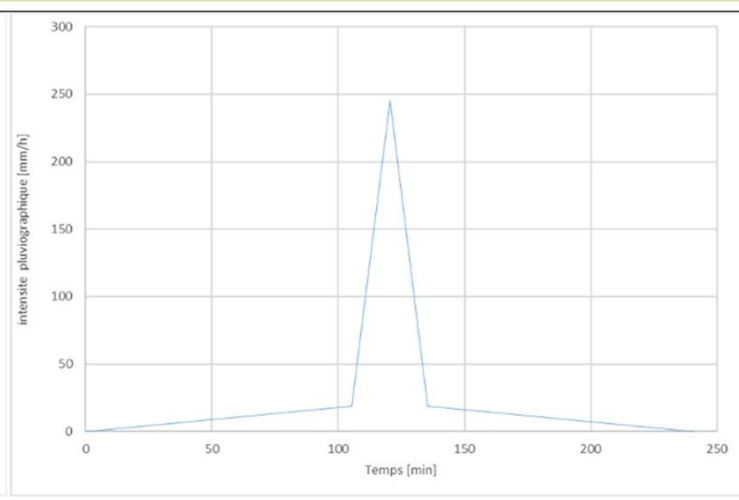
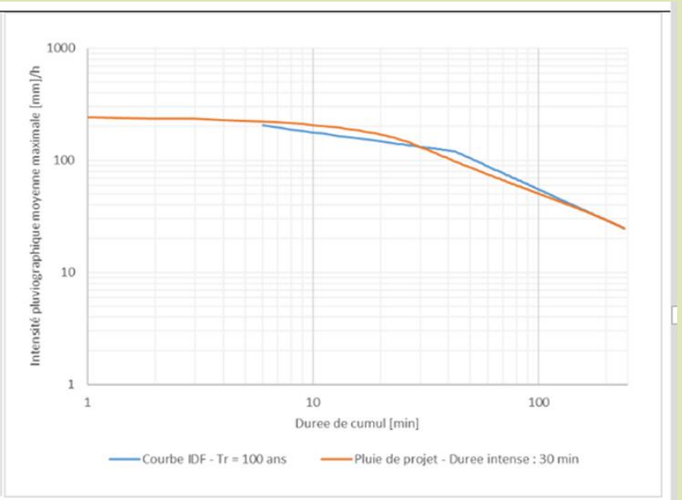
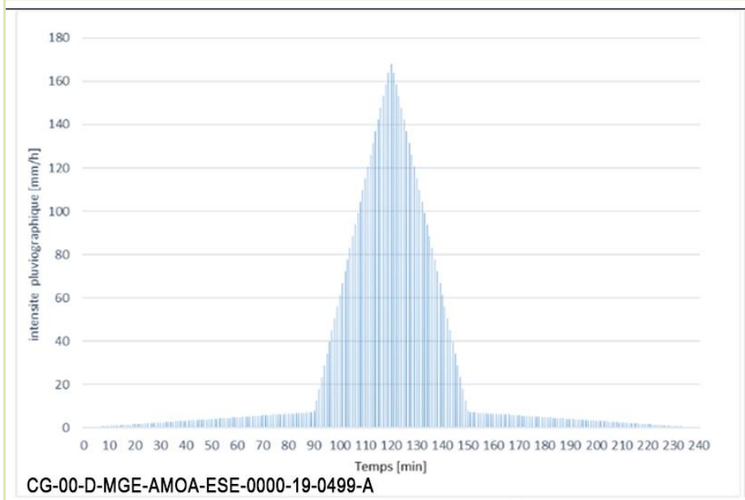
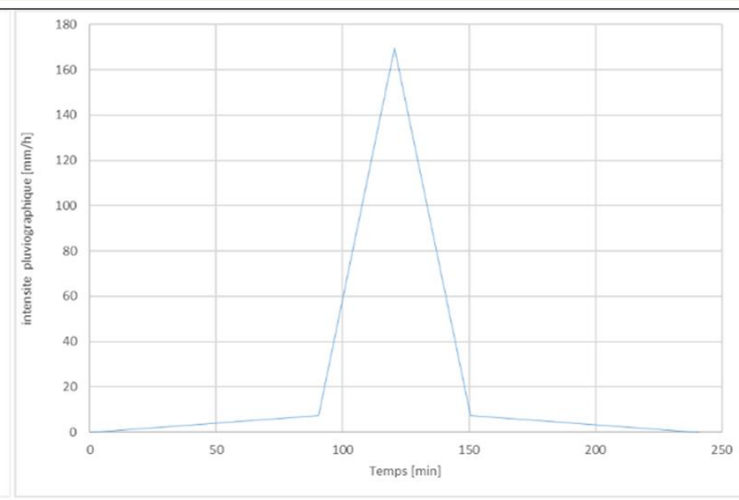
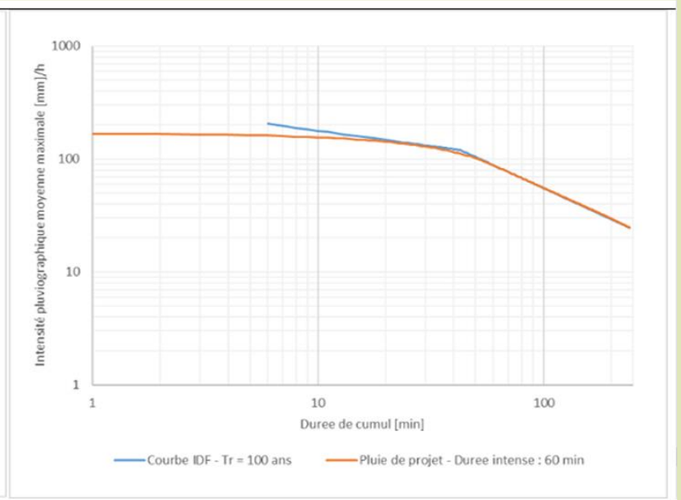
Durée intense	Hydrogramme discrétisé	Hydrogramme théorique	Projection de l'hydrogramme discrétisé sur un axe IDF
30	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0498-A		
60	 CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0499-A		

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 :

1. 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.
2. Le pas de discrétisation du hyétogramme fixé à 1 min permet de tenir compte avec une bonne approximation de la pointe du hyétogramme de pluie instantané.
3. 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.

La conception de cette pluie repose entièrement sur la courbe Intensité-Durée-Fréquence de la station de référence.

Le contenu de ce paragraphe 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 & 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 6 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. $\mathbf{i_{(t,T)} = \frac{dH_{(t,T)}}{dt} = (1-b).a_{(T)}.t^{-b_{(T)}}}$

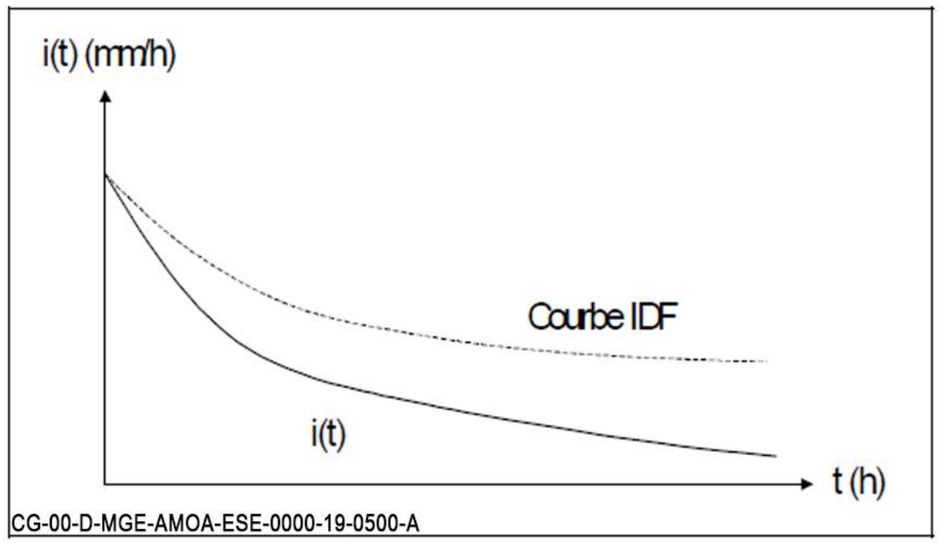


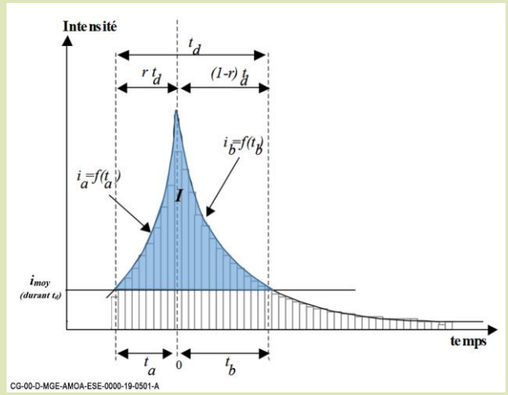
Figure Annexe 4-1 Hyétogramme instantanée « Keifer » obtenu à partir de la courbe Intensité-Durée-Fréquence associée

✓ **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

$$I = i_{moy}.t_d$$

⇒ égalité 7 : résultats

$$\frac{dI}{dt_d} = t_d.\frac{di_{moy}}{dt_d} + i_{moy} = f(t_a) = f(t_b)$$

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 discrétisée 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 6 minutes) implique que le pas de temps de discrétisation d'une pluie Keifer centrée serait d'au minimum de 6 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 Annexe 4-9 Saisir la légende du tableau

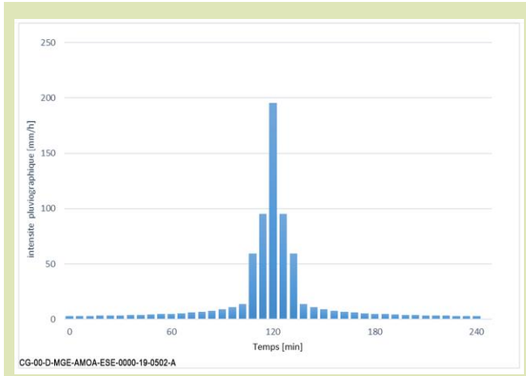
Saint-Dizier		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
0	0,04 738 187	2,84291 216
6	0,04 946 572	2,96794 339
12	0,05 176 167	3,10570 025
18	0,054 305	3,25830 021
24	0,05 713 945	3,42836 704
30	0,06 031 989	3,61919 364
36	0,06 391 621	3,83497 249
42	0,06 801 882	4,08112 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
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

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
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

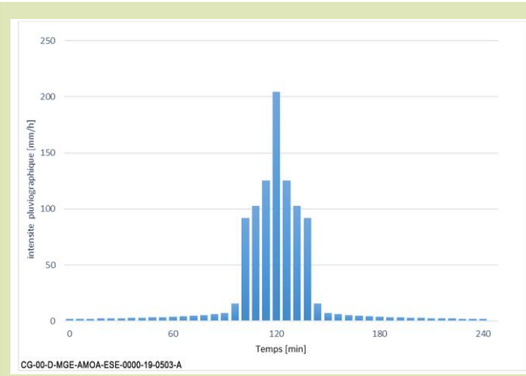
Saint-Dizier		
Hyétogramme discrétisé		
Durée [min]	intensité [mm/min]	intensité [mm/h]
126	1,58 647 391	95,1 884 349
132	0,98 859 757	59,3 158 544
138	0,23 428 503	14,0 571 019
144	0,18 347 157	11,0 082 944
150	0,15 193 207	9,11 592 444
156	0,13 028 415	7,817 049
162	0,11 442 801	6,86 568 045
168	0,10 227 201	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
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]
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
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 6 min, 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[32]

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	*[33]	*[33]
Acidification						
pH minimum	-	1302	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum	-		8,2	9	9,5	10
Salinité						
Conductivité	-	1303	*33	*33	*33	*33
Chlorure	-	1337	*33	*33	*33	*33
Sulfates	-	1338	*33	*33	*33	*33

[32] (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)

[33] 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[34]	NQE-CMA[35]	NQE Biote
1,2-dichloroéthane	COHV, solvants chlores, fréons	Eau	1161	107-06-2	NF EN ISO15680	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	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 [36]	0,17	Voir note[36]
Benzo(g,h,i)perylene	HAP	Eau	1118	191-24-2	NF EN ISO17993	0,0002	0,00060	µg/l	Voir note [36]	$8,2*10^{-3}$	Voir note[36]
Benzo(k)fluoranthene	HAP	Eau	1117	207-08-9	NF EN ISO17993	0,0002	0,00500	µg/l	Voir note [36]	0,17	Voir note [36]
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	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
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	

[34] 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.
[35] 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.
[36] 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[34]	NQE-CMA[35]	NQE Biote
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 ISO15680	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 [37])	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	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	0,0002	0,00060	µg/l	Voir note [36]	Voir note[36]	Voir note [36]
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	0,02	0,05000	µg/l	2	130	
Nickel	Métaux et metalloïdes	Eau	1386	7440-02-0	NF EN ISO17294-2	0,07	0,20000	µg/l	4[36]	34	
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	

[37] 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[34]	NQE-CMA[35]	NQE Biote
Plomb	Métaux et metalloïdes	Eau	1382	7439-92-1	NF EN ISO17294-2	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	0,2	0,50000	µg/l	10	Sans objet	
Tetrachlorure de Carbone	COHV, solvants chlores, freons	Eau	1276	56-23-5	NF EN ISO15680	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	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			
Dieldrine	Organochlores et metabolites	Eau	1173	60-57-1	Méthode interne (LL/GC/MS/MS)	0,0003	0,00100	µg/l	Somme = 0,01	Sans objet	
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 [38]

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	0,3	0,90000	µg/l	7,8
Arsenic	Métaux et metalloïdes	Eau	1369	7440-38-2	NF EN ISO17294-2	0,003	0,01000	µg/l	0,83
Cuivre	Métaux et metalloïdes	Eau	1392	7440-50-8	NF EN ISO17294-2	0,05	0,15000	µg/l	1
Chrome	Métaux et metalloïdes	Eau	1389	7440-47-3	NF EN ISO17294-2	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

[38] (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 (192) 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 (11)		ANNEXE I de l'arrêté du 17 décembre 2008 (11)	
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 (2016-2017)

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
28 mai au 10 juin 2016	Nuageux, 10 à 20 °C						X	
28 juin au 1er juillet 2016	Temps clair, vent faible, 23 à 12 °C					X		
04/07/2016	Nuageux, 15 à 23 °C						X	
05/07/2016	Nuageux, 15 à 23 °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					

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
25/07/2016	Nuageux, 14 à 28 °C		X					
26/07/2016	Nuageux, 16 à 25 °C		X					
28 juillet au 5 aout 2016	Temps couvert, vent faible, 17 à 11 °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
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
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 ECOTHEQUE				X
29/08/2016	Canicule, 16 à 22 °C	X						X
30/08/2016	Canicule, 12 à 27 °C	X		X				
31/08/2016	Canicule, 13 à 28 °C	X		X				X
01/09/2016	Canicule,11 à 27 °C		X					X
02/09/2016	Canicule, 11 à 24 °C		X	X				X
05/09/2016	Très nuageux, 15 à 20 °C		X					
06/09/2016	Ensoleillé, 15 à 27 °C		X					
07/09/2016	Ensoleillé, 11 à 28 °C				X			X
08/09/2016	Ensoleillé, vent faible, 15 à 27 °C			X				X

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
09/09/2016	Ensoleillé, vent faible, 15 à 24 °C							X
11/09/2016	Ensoleillé, vent faible, 17 à 27 °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
22/09/2016	Nuageux, 6 à 21 °C							X
23/09/2016	Nuageux, 8 à 23 °C			X ECOTHEQUE				X
24/09/2016	Nuageux, 8 à 24 °C			X				
26/09/2016	Couvert, vent faible 5 à 15 °C	X						
27/09/2016	Couvert, vent faible 5 à 15 °C	X						X
28/09/2016	Couvert, vent faible 5 à 15 °C	X		X				X
29/09/2016	Couvert, vent faible 5 à 15 °C	X		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					
26/10/2016	Couvert, vent faible 0 à 10 °C	X						
27/10/2016	Couvert, vent faible 0 à 10 °C	X						
28/10/2016	Couvert, vent faible 0 à 10 °C	X						
16/11/2016	Nuageux, 7 à 11 °C							X
23/11/2016	Nuageux, 5 à 15 °C							X

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
30/11/2016	Nuageux, -6 à 6 °C							X
01/12/2016	Nuageux, -6 à 5 °C							X
05/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						
06/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						
07/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						X
08/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						X
09/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						
10/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						
11/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						
12/12/2016	Couvert, vent faible -5 à 5 °C	X						
13/12/2016	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						X
10/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible 0 à 2 °C	X						
11/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible 1 à 5 °C	X						X
12/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible 2 à 4 °C	X						
13/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -1 à 0 °C	X						
14/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -1 à 0 °C	X						

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
15/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -1 à 0 °C	X						
16/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -4 à 0 °C	X						
17/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -6 à -3 °C	X						X
18/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -6 à -2 °C	X						X
19/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -7 à -2 °C	X						X
20/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -8 à -1 °C	X						
21/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -7 à 0 °C	X						
22/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -8 à 0 °C	X						
23/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -10 à 0 °C	X						
24/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -7 à 0 °C	X						X
25/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -7 à -6 °C	X						
26/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible -10 à -4 °C	X						X
27/01/2017	Couvert à dégagé, vent faible 0 à 4 °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
22/02/2017	Quelques gouttes avec vent moyen, 6 à 7 °C							X
23/02/2017	Couvert 0 à 10 °C	X						X
24/02/2017	Couvert , qq gouttes 0 à 10 °C	X						
27/02/2017	Couvert 0 à 10 °C	X						
28/02/2017	Couvert 0 à 10 °C	X						

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
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
10/03/2017	Couvert, averses, vent faible 5 à 10 °C	X					X	
14/03/2017	Couvert vent faible 5 à 10 °C						X	
15/03/2017	Couvert vent faible 5 à 10 °C						X	
16/03/2017	Ciel dégagé 10 à 15 °C						X	X
19/03/2017	Couvert, vent faible 5 à 10 °C						X	
20/03/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
21/03/2017	Couvert 10 à 15 °C	X					X	
22/03/2017	Peu nuageux 10 à 15 °C	X						X
23/03/2017	Eclaircies 10 à 15 °C	X	X				X	
24/03/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
25/03/2017	Ensoleillé 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	
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	
02/04/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
03/04/2017	Ensoleillé 10 à 15 °C	X		X			X	

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
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		X				
17/04/2017	Couvert, averses, vent faible 5 à 10 °C						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						
28/04/217	Couvert 10 à 15 °C	X						
02/05/2017	Couvert 10 à 15 °C	X						
03/05/2017	Couvert 10 à 15 °C	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	

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
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		x		
17/05/2017	Ensoleillé, vent faible 10 à 15 °C	X	X			x	X	
18/05/2017	Averses 10 à 15 °C	X	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
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						
29/05/2017	Ensoleillé, vent moyen, 23 à 30 °C	X		X				
30 mai au 1er juin 2017	Temps clair, vent faible, 28 à 12 °C					x		
30/05/2017	Temps estival, orageux, vent moyen, 19 à 22 °C			X	X			
31/05/2017	Temps estival, vent faible, 16 à 23 °C			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			X
07/06/2017	Couvert, quelques averses, éclaircies, vent fort, 10 à 16 °C			X	X			
08/06/2017	Temps estival, vent faible, 16 à 23 °C			X				X
11/06/2017	Dégagé 15 à 25 °C	X						
12 au 16 juin 2017	25 à 15 °C, temps clair, vent faible					X		

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
12/06/2017	Couvert 15 à 25 °C	X						
13/06/2017	Temps estival, vents faible, 16 à 24 °C			X				X
14/06/2017	Temps estival, quelques nuages, vent nul, 17 à 26 °C			X				X
15/06/2017	Temps estival, vent faible, 20 à 27 °C			X	X			
20 juin au 22 juin 2017	Temps estival					X		
20/06/2017	Temps estival, vent faible, 27 à 31 °C		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			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

Dates des inventaires	Conditions météorologiques	Groupe						
		Oiseaux	Flore	Reptiles	Insectes	Chiroptères	Amphibiens	Mammifères
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
18/08/2017	Averses, 16 à 20 °C							X
21/08/2017	Nuageux avec éclaircies, 11 à 20 °C							X
23/08/2017	Nuageux, 15 à 26 °C							X
24/08/2017	Nuageux avec éclaircies, 15 à 25 °C							X
29 aout au 31 aout 2016	temps clair, vent nul, 23 à 12 °C					x		
30/08/2017	Ciel couvert, 20 à 22 °C							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
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
28/09/2017	Nuageux, 11 à 22 °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

Dates des inventaires	Conditions météorologiques et commentaires
Inventaires des habitats naturels et de la flore	
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	2nd passage « rapaces nocturnes » - HIRRUS
19 au 23/06/2018	3ème passage « rapaces nocturnes » - HIRRUS
29/03 au 10/04/2018	1er parcours « nicheurs » + IPA - NEOMYS
24/03 au 12/05/2018	2nd 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	2nd passage « migration postnuptiale » - NEOMYS
13/12/2018 au 06/01/2019	1er passage « hivernants » - HIRRUS
01 au 13/02/2019	2nd 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
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
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 Grille d'interprétation pour qualifier le niveau d'intérêt des habitats d'espèces

Tableau Annexe 8-1 Insectes

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
État de conservation dégradé et/ou, pas d'intérêt spécifique du milieu pour l'espèce/le groupe considéré, et/ou **Habitat étant utilisé uniquement de façon anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique pour l'espèce/le groupe considéré, et/ou** **Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces**	Absence de végétalisation spontanée : parcelles agricoles, milieux artificialisés ou végétation forestière fermée	Parcelles artificialisées, sans végétation ou habitat forestier fermé	Habitat non arboré	I0 Très faible
	Présence d'espèces prairiales uniquement anecdotique et en déplacement	Présence d'espèces des habitats agricoles uniquement anecdotique	Présence des espèces forestières uniquement anecdotique et en déplacement	
	Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces	Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces	Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces	
État de conservation altéré et/ou **Habitat dont l'utilisation est limitée au déplacement, et/ou** **Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique**	Prairies temporaires jeunes, peu ou pas fleuries, très peu diversifiées et/ou habitats ouverts herbacés naturels très dégradés, très peu diversifiés et très peu étendus (bord de chemin très eutrophisé ou passé à l'herbicide, bande enherbée entre deux parcelles agricoles etc.)	Parcelles de grandes cultures en agriculture conventionnelle (travail du sol systématique et utilisation de produits phytosanitaires), éloignées d'éléments ligneux tels que des haies ou lisières forestières	Arbres isolés ou haies en milieu ouvert (prairies ou parcelles agricoles). Habitat caractérisé par une strate herbacée très développée et une strate ligneuse basse et très discontinue	I1 Faible
	Présence d'espèces prairiales uniquement en déplacement (pas d'alimentation ni de reproduction)	Présence d'espèces prairiales uniquement en déplacement. Densité de population faible	Présence des espèces forestières uniquement en déplacement (notamment migratoire)	
État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou **Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale, et/ou ;** **Seulement cortège typique d'espèces sur un micro-habitat particulier**	Prairies temporaires âgées ou prairies naturelles peu fleuries et peu diversifiées. Les espèces hôtes des insectes prairiaux sont peu présentes. Les haies et lisières forestières arbustives et arborées sont peu présentes.	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, éloignées d'éléments ligneux tels que haies, lisières forestières ou Parcelles de grande culture en agriculture conventionnelle à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées.	Habitat forestier en mauvais état de conservation: peuplement unistratifiés jeunes, peuplements fortement colonisé par des espèces exotiques, plantations d'essences exotiques ou habitat feuillus diversifié mais peu étendu et mal connecté aux massifs forestier environnant	I2 Moyen
	Les imagos des espèces patrimoniales d'insectes ne sont présents qu'en transit ou en alimentation (pas de reproduction)	Présence d'espèces des habitats agricoles en déplacement, voire en alimentation	Présence possible de toutes les espèces forestières en déplacement, hivernage ou en dispersion. En reproduction, seules les espèces peu exigeantes sont présentes, cortège des espèces communes incomplet (dépendant de la strate herbacée) et en effectif faible.	
	Le cortèges des espèces prairiales est peu développé et peu diversifié	Le cortèges des espèces prairiales est peu développé et peu diversifié	Si présence d'espèces patrimoniales, effectifs faibles	
État de conservation bon et/ou **Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie pour l'espèce/le groupe 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 etc.) et/ou**	Prairies naturelles diversifiées en bon état de conservation. Présence de haies et de lisières forestières arbustives.	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, situées à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées, avec bandes enherbées au pied (au moins 5 m de large en plus de l'emprise de la haie, ou Prairies permanentes associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Dominé par des arbres adultes (bois moyen au minimum). Peuplement normalement exploité, pauvre en très gros bois, bois mort au sol et sur pied. Présence de micro-mares sporadiques	I3 Fort

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
Cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniales (secteur abritant une diversité de coléoptères saproxyliques importantes)	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs significatifs pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs.	Présence et diversité normale des espèces communes en période de reproduction et d'hivernage et présences d'espèces patrimoniales en reproduction	Cortège des espèces forestières communes normalement diversifié, avec une densité moyenne pour les espèces à petit territoire et présence d'espèces à grand territoire en présence de reproduction	
État de conservation optimal et/ou **Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit) et/ou** **Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.**	Prairies naturelles diversifiées en très bon état de conservation. Haies et de lisières forestières arbustives très présentes.	Parcelles de grandes cultures mises en jachère de longue durée (de 3 à 5 ans avant déplacement), sans intervention sauf éventuellement en hiver ou Prairies naturelles de fauche à gestion extensive, avec un cortège végétal typique et diversifié, associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Peuplement riche en gros bois, arbres à cavités, en bois mort de diamètre supérieur à 40 cm, au sol et sur pied	I4 Très fort
	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs importants pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs.	Forte abondance et diversité des espèces d'habitats agricoles en toutes saisons, y compris pour les espèces patrimoniales	Non exploitation des gros et très gros bois, ainsi que des bois morts sur pied et au sol. Présence d'ilots de sénescence. Présence de mares fréquente	
			Cortège des espèces forestières normalement diversifié, avec densité forte d'espèce cavicoles. Présence d'espèces à grand territoire en période de reproduction.	

Tableau Annexe 8-2 Amphibiens, Reptiles

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
État de conservation dégradé, et/ou **Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce, et/ou** **Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces**	Absence de végétalisation spontanée: parcelles agricoles, milieux artificialisés ou végétation forestière fermée	Parcelles artificialisées, sans végétation ou habitat forestier fermé	Habitat non arboré	I0 Très faible
	Présence d'espèces prairiales uniquement anecdotique et en déplacement	Présence d'espèces des habitats agricoles uniquement anecdotique	Présence des espèces forestières uniquement anecdotique et en déplacement	
État de conservation altéré, et/ou **Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale, et/ou** **Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique**	Prairies temporaires jeunes, peu ou pas fleuries, très peu diversifiées et/ou habitats ouverts herbacés naturels très dégradés, très peu diversifiés et très peu étendus (bord de chemin très eutrophisé ou passé à l'herbicide, bandes enherbées entre deux parcelles agricoles etc.)	Parcelles de grandes cultures en agriculture conventionnelle (travail du sol systématique et utilisation de produits phytosanitaires), éloignées d'éléments ligneux tels que des haies ou lisières forestières	Arbres isolés ou haies en milieu ouvert (prairies ou parcelles agricoles). Habitat caractérisé par une strate herbacée très développée et une strate ligneuse basse et très discontinue	I1 Faible
	Présence d'espèces uniquement en déplacement (pas d'alimentation ni de reproduction)	Présence d'espèces prairiales uniquement en déplacement (voir en alimentation). Densité de population faible	Présence des espèces forestières uniquement en déplacement (notamment migratoire)	
État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou **Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage (non diffus), et/ou**	Prairies temporaires âgées ou prairies naturelles peu fleuries et peu diversifiées. Les haies et lisières forestières arbustives et arborées sont peu présentes	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, éloignées d'éléments ligneux tels que haies, lisières forestières ou Parcelles de grande culture en agriculture conventionnelle à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées.	Habitat forestier en mauvais état de conservation: peuplement unistratifiés jeunes, peuplements fortement colonisé par des espèces exotique, plantations d'essences exotiques ou habitat feuillus diversifié mais peu étendu et mal connecté aux massifs forestiers environnants	I2 Moyen

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
Seulement cortège typique d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale	Le cortèges des espèces prairiales est peu développé et peu diversifié	Présence d'espèces des habitats agricoles en déplacement, voire en alimentation	Présence possible de toutes les espèces forestières en déplacement, hivernage ou en dispersion. En reproduction, seules les espèces peu exigeantes sont présentes, cortège des espèces communes incomplet (dépendant de la strate herbacée) et en effectif faible	
			Si présence d'espèces patrimoniales, effectifs faibles	
État de conservation bon et/ou **Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation (notamment, secteurs tampon de 250 m autour des zones de reproduction, zone tampon de 30 m autour des lisières accueillant du Lézard vivipare), et/ou**	Prairies naturelles diversifiées en bon état de conservation. Présence de haies et de lisières forestières arbustives	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, situées à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées, avec bandes enherbées au pied (au moins 5 m de large en plus de l'emprise de la haie, ou Prairies permanentes associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Dominé par des arbres adultes (bois moyen au minimum). Peuplement normalement exploité, pauvre en très gros bois, bois mort au sol et sur pied. Présence de micro-mares sporadiques	I3 Fort
Cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniales	Cortège des espèces prairiales normalement diversifiée, avec des effectifs significatifs pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs	Présence et diversité normale des espèces communes en période de reproduction et d'hivernage et présences d'espèces patrimoniales en reproduction	Cortège des espèces forestières communes normalement diversifié, avec une densité moyenne pour les espèce à petit territoire et présence d'espèces à grand territoire en présence de reproduction	
État de conservation optimal et/ou **Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et/ou** **Multitudes de zones de reproduction dans un petit secteur (chapelet de mares) et/ou** **Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées**	Prairies naturelles diversifiées en très bon état de conservation. Haies et de lisières forestières arbustives très présentes	Parcelles de grandes cultures mises en jachère de longue durée (de 3 à 5 ans avant déplacement), sans intervention sauf éventuellement en hiver ou Prairies naturelles de fauche à gestion extensive, avec un cortège végétal typique et diversifié, associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Peuplement riche en gros bois, arbres à cavités, en bois mort de diamètre supérieur à 40cm, au sol et sur pied	I4 Très fort
	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs importants pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs.	Forte abondance et diversité des espèces d'habitats agricoles en toutes saisons, y compris pour les espèces patrimoniales	Non exploitation des gros et très gros bois, ainsi que des bois morts sur pied et au sol. Présence d'ilots de sénescence. Présence de mares fréquente	
			Cortège des espèces forestières normalement diversifié, avec densité forte d'espèce cavicoles. Présence d'espèces à grand territoire en période de reproduction	

Tableau Annexe 8-3 Oiseaux

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
État de conservation dégradé, et/ou **Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce. Il peut s'agir d'une seule donnée d'une espèce en migration, et/ou** **Aucune espèce patrimoniales et très faible diversité et densité d'espèces**	Absence de végétalisation spontanée: parcelles agricoles, milieux artificialisés ou végétation forestière fermée	Parcelles artificialisées, sans végétation ou habitat forestier fermé	Habitat non arboré	I0 Très faible
	Présence d'espèces prairiales uniquement anecdotique et en déplacement	Présence d'espèces des habitats agricoles uniquement anecdotique	Présence des espèces forestières uniquement anecdotique et en déplacement	
État de conservation altéré, et/ou, **Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir d'habitats accueillant des espèces communes en migration/hivernage, et/ou** **Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique**	Prairies temporaires jeunes, peu ou pas fleuries, très peu diversifiées et/ou habitats ouverts herbacés naturels très dégradés, très peu diversifiés et très peu étendus (bord de chemin très eutrophisé ou passé à l'herbicide, bandes enherbées entre deux parcelles agricoles etc.)	Parcelles de grandes cultures en agriculture conventionnelle (travail du sol systématique et utilisation de produits phytosanitaires), éloignées d'éléments ligneux tels que des haies ou lisières forestières	Arbres isolés ou haies en milieu ouvert (prairies ou parcelles agricoles). Habitat caractérisé par une strate herbacée très développée et une strate ligneuse basse et très discontinue	I1 Faible
	Présence d'espèces prairiales uniquement en déplacement (pas d'alimentation ni de reproduction)	Présence d'espèces prairiales uniquement en déplacement (voir en alimentation). Densité de population faible	Présence des espèces forestières uniquement en déplacement (notamment migratoire)	
	Majorité d'espèces communes non menacées avec une plasticité écologique	Majorité d'espèces communes non menacée avec une plasticité écologique	Majorité d'espèces communes non menacées avec une plasticité écologique	
État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou **Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage, et/ou** **Seulement cortège typique d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale et/ou** **Concernant le cortège des milieux ouverts, milieux préférentiels d'alimentation situés au sein du domaine vital défini par un tampon de 200m autour des habitats de repos ou de reproduction avérés**	Prairies temporaires âgées ou prairies naturelles peu fleuries et peu diversifiées. Les haies et lisières forestières arbustives et arborées sont peu présentes.	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, éloignées d'éléments ligneux tels que haies, lisières forestières ou Parcelles de grande culture en agriculture conventionnelle à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées.	Habitat forestier en mauvais état de conservation: peuplement unistratifiés jeunes, peuplements fortement colonisé par des espèces exotiques, plantations d'essences exotiques ou habitat feuillus diversifié mais peu étendu et mal connecté aux massifs forestier environnant	I2 Moyen
	Le cortèges des espèces prairiales est peu développé et peu diversifié	Présence d'espèces des habitats agricoles en déplacement, voire en alimentation	Présence possible de toutes les espèces forestières en déplacement, hivernage ou en dispersion. En reproduction, seules les espèces peu exigeantes sont présentes, cortège des espèces communs incomplet (dépendant de la strate herbacée) et en effectif faible	
			Présence possible de toutes les espèces forestières en déplacement, hivernage ou en dispersion. En reproduction, seules les espèces peu exigeantes sont présentes, cortège des espèces communes incomplet (dépendant de la strate herbacée) et en effectif faible	
État de conservation bon et/ou, **Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation (ex : 70 m pour le Muscardin, autour de son nid), et/ou**	Prairies naturelles diversifiées en bon état de conservation. Présence de haies et de lisières forestières arbustives.	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, situées à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées, avec bandes enherbées au pied (au moins 5 m de large en plus de l'emprise de la haie, ou Prairies permanentes associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Dominé par des arbres adultes (bois moyen au minimum). Peuplement normalement exploité, pauvre en très gros bois, bois mort au sol et sur pied. Présence de micro-mares sporadiques	I3 Fort

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
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.**	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs significatifs pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs.	Présence et diversité normale des espèces communes en période de reproduction et d'hivernage et présences d'espèces patrimoniales en reproduction	Cortège des espèces forestières communes normalement diversifié, avec une densité moyenne pour les espèce à petit territoire et présence d'espèces à grand territoire en présence de reproduction	
État de conservation optimal et/ou **Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et/ou** **Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.**	Prairies naturelles diversifiées en très bon état de conservation. Haies et de lisières forestières arbustives très présentes.	Parcelles de grandes cultures mises en jachère de longue durée (de 3 à 5 ans avant déplacement), sans intervention sauf éventuellement en hiver ou Prairies naturelles de fauche à gestion extensive, avec un cortège végétal typique et diversifié, associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Peuplement riche en gros bois, arbres à cavités, en bois mort de diamètre supérieur à 40 cm, au sol et sur pied	I4 Très fort
	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs importants pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs.	Forte abondance et diversité des espèces d'habitats agricoles en toutes saisons, y compris pour les espèces patrimoniales	Non exploitation des gros et très gros bois, ainsi que des bois morts sur pied et au sol. Présence d'îlots de sénescence. Présence de mares fréquente	
			Cortège des espèces forestières normalement diversifié, avec densité forte d'espèce cavicoles. Présence d'espèces a grand territoire en période de reproduction	

Tableau Annexe 8-4 Mammifères (hors chauves-souris)

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
État de conservation dégradé, et/ou **Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce, et/ou** **Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèces**	Absence de végétalisation spontanée: parcelles agricoles, milieux artificialisés ou végétation forestière fermée	Parcelles artificialisées, sans végétation ou habitat forestier fermé	Habitat non arboré	I0 Très faible
	Présence d'espèces prairiale uniquement anecdotique et en déplacement	Présence d'espèces des habitats agricoles uniquement anecdotique	Présence des espèces forestières uniquement anecdotique et en déplacement	
État de conservation altéré, et/ou, **Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale, et/ou** **Majorité d'espèce commune non menacée avec une plasticité écologique**	Prairies temporaires jeunes, peu ou pas fleuries, très peu diversifiées et/ou habitats ouverts herbacés naturels très dégradés, très peu diversifiés et très peu étendus (bord de chemin très eutrophisé ou passé à l'herbicide, bandes enherbées entre deux parcelles agricoles etc.)	Parcelles de grandes cultures en agriculture conventionnelle (travail du sol systématique et utilisation de produits phytosanitaires), éloignées d'éléments ligneux tels que des haies ou lisières forestières	Arbres isolés ou haies en milieu ouvert (prairies ou parcelles agricoles). Habitat caractérisé par une strate herbacée très développée et une strate ligneuse basse et très discontinue	I1 Faible
	Présence d'espèces prairiales uniquement en déplacement (pas d'alimentation ni de reproduction)	Présence d'espèces prairiales uniquement en déplacement (voir en alimentation). Densité de population faible	Présence des espèces forestières uniquement en déplacement (notamment migratoire)	

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou **Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale, et/ou,** **Seulement cortège typique d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale.**	Prairies temporaires âgées ou prairies naturelles peu fleuries et peu diversifiées. Les haies et lisières forestières arbustives et arborées sont peu présentes	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, éloignées d'éléments ligneux tels que haies, lisières forestières ou Parcelles de grande culture en agriculture conventionnelle à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées.	Habitat forestier en mauvais état de conservation: peuplement unistratifiés jeunes, peuplements fortement colonisé par des espèces exotiques, plantations d'essences exotiques ou habitat feuillus diversifié mais peu étendu et mal connecté aux massifs forestiers environnants	I2 Moyen
	Le cortèges des espèces prairiales est peu développé et peu diversifié	Présence d'espèces des habitats agricoles en déplacement, voire en alimentation	Présence possible de toutes les espèces forestières en déplacement, hivernage ou en dispersion. En reproduction, seules les espèces peu exigeantes sont présentes, cortège des espèces communs incomplet (dépendant de la strate herbacée) et en effectif faible	
			Si présence d'espèces patrimoniales, effectifs faibles	
État de conservation bon et/ou, **Habitat essentiel à l'accomplissement du cycle de vie de l'espèce. Son domaine vital est composé d'habitat de reproduction, d'alimentation (ex : 70 m pour le Muscardin, autour de son nid), 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.**	Prairies naturelles diversifiées en bon état de conservation. Présence de haies et de lisières forestières arbustives	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, situées à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées, avec bandes enherbées au pied (au moins 5 m de large en plus de l'emprise de la haie. ou Prairies permanentes associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Dominé par des arbres adultes (BM au minimum). Peuplement normalement exploité, pauvre en très gros bois, bois mort au sol et sur pied. Présence de micro-mares sporadiques	I3 Fort
	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs significatifs pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs	Présence et diversité normale des espèces communes en période de reproduction et d'hivernage et présences d'espèces patrimoniales en reproduction	Cortège des espèces forestières communes normalement diversifié, avec une densité moyenne pour les espèce à petit territoire et présence d'espèces à grand territoire en présence de reproduction	
État de conservation optimal et/ou **Habitat préférentiel essentiel à l'accomplissement du cycle biologique (reproduction, alimentation, transit), et/ou** **Présence de plusieurs espèces d'intérêt dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées.**	Prairies naturelles diversifiées en très bon état de conservation. Haies et de lisières forestières arbustives très présentes	Parcelles de grandes cultures mises en jachère de longue durée (de 3 à 5 ans avant déplacement), sans intervention sauf éventuellement en hiver ou Prairies naturelles de fauche à gestion extensive, avec un cortège végétal typique et diversifié, associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Peuplement riche en gros bois, arbres a cavités, en bois mort de diamètre supérieur à 40 cm, au sol et sur pied	I4 Très fort
	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs importants pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs	Forte abondance et diversité des espèces d'habitats agricoles en toutes saisons, y compris pour les espèces patrimoniales	Non exploitation des gros et très gros bois, ainsi que des bois morts sur pied et au sol. Présence d'îlots de sénescence. Présence de mares fréquente	
			Cortège des espèces forestières normalement diversifié, avec densité forte d'espèce cavicoles. Présence d'espèces à grand territoire en période de reproduction	

Tableau Annexe 8-5 Chiroptères

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
État de conservation dégradé, et/ou **Habitat n'étant utilisé que de manière anecdotique par une espèce patrimoniale. Cet habitat n'est pas essentiel au cycle biologique d'une espèce. Il peut s'agir d'une seule donnée d'une espèce en migration, et/ou** **Aucune espèce patrimoniale et très faible diversité et densité d'espèce**	Absence de végétalisation spontanée: parcelles agricoles, milieux artificialisés ou végétation forestière fermée etc.	Parcelles artificialisées, sans végétation ou habitat forestier fermé	Habitat non arboré	I0 Très faible
	Présence d'espèces uniquement anecdotique et en déplacement	Présence d'espèces uniquement anecdotique	Présence des espèces forestières uniquement anecdotique et en déplacement	
État de conservation altéré, et/ou **Habitat ne permettant uniquement un déplacement/transit non préférentiel pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir d'habitats accueillant des espèces communes en migration/hivernage, et/ou** **Majorité d'espèce commune non menacée avec une forte plasticité écologique**	Prairies temporaires jeunes, peu ou pas fleuries, très peu diversifiées et/ou habitats ouverts herbacés naturels très dégradés, très peu diversifiés et très peu étendus (bord de chemin très eutrophisé ou passé à l'herbicide, bande enherbée entre deux parcelles agricoles etc.)	Parcelles de grandes cultures en agriculture conventionnelle (travail du sol systématique et utilisation de produits phytosanitaires), éloignées d'éléments ligneux tels que des haies ou lisières forestières	Arbres isolés ou haies en milieu ouvert (prairies ou parcelles agricoles). Habitat caractérisé par une strate herbacée très développé et une strate ligneuse basse et très discontinue	I1 Faible
	Présence d'espèces uniquement en déplacement (pas d'alimentation ni de reproduction)	Présence d'espèces uniquement en déplacement. Densité de population faible	Présence des espèces forestières uniquement en déplacement (notamment migratoire)	
État de conservation moyen. Il peut s'agir d'un habitat de substitution assimilé à une zone refuge dans un contexte dégradé alentour, et/ou **Habitat pouvant être utilisé au déplacement/transit et/ou à l'alimentation pour une espèce patrimoniale. Il peut s'agir également d'un habitat utilisé préférentiellement lors de la migration ou pour de l'hivernage, et/ou** **Seulement cortège typique d'espèces sur un habitat particulier ou présence d'une espèce patrimoniale**	Prairies temporaires âgées ou prairies naturelles peu fleuries et peu diversifiées. Les espèces hôtes des insectes prairiaux sont peu présentes. Les haies et lisières forestières arbustives et arborées sont peu présentes	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, éloignées d'éléments ligneux tels que haies, lisières forestières ou Parcelles de grande culture en agriculture conventionnelle à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées.	Habitat forestier en mauvais état de conservation: peuplements unistratifiés jeunes, peuplements fortement colonisés par des espèces exotiques, plantations d'essences exotiques ou habitat feuillus diversifié mais peu étendu et mal connecté aux massifs forestier environnants	I2 Moyen
	Le cortèges des espèces est peu développé et peu diversifié	Présence d'espèces des habitats agricoles en déplacement, voire en alimentation	Présence possible de toutes les espèces forestières en déplacement, hivernage ou en dispersion. En reproduction, seules les espèces peu exigeantes sont présentes, cortège des espèces communes incomplet (dépendant de la strate herbacée) et en effectif faible	
			Si présence d'espèces patrimoniales, effectifs faibles	
État de conservation bon et/ou **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, et/ou** **Cortège typique et complet (diversité) d'espèces sur un habitat particulier et présence d'une ou plusieurs espèces patrimoniales. Niveau d'activité pressentie important**	Prairies naturelles diversifiées en bon état de conservation. Présence de haies et de lisières forestières arbustives	Parcelles cultivées sans traitements phytosanitaires ou en associant non labour et présence systématique de couverts d'inter-culture complexes (au moins 2 espèces de familles différentes) après une culture d'hiver, situées à faible distance de haies et lisières forestières arbustives et arborées, avec bandes enherbées au pied (au moins 5 m de large en plus de l'emprise de la haie, ou Prairies permanentes associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Dominé par des arbres adultes (BM au minimum). Peuplement normalement exploité, pauvre en très gros bois, bois mort au sol et sur pied. Présence de micro-mares sporadiques	I3 Fort
	Cortège des espèces normalement diversifié, avec des effectifs significatifs pour les individus communs, Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs	Présence et diversité normale des espèces communes en période de reproduction et d'hivernage et présences d'espèces patrimoniales en reproduction	Cortège des espèces forestières communes normalement diversifié, avec une densité moyenne pour les espèces à petit territoire et présence d'espèces à grand territoire en présence de reproduction	

Fonctions de l'habitat pour l'espèce	Déclinaison pour les milieux prairiaux	Déclinaisons pour les milieux cultivés	Déclinaisons pour les milieux boisés	Niveaux d'intérêt
État de conservation optimal et/ou **Habitat préférentiel essentiel 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 dont au moins une présentant un niveau d'enjeu très fort et d'un cortège typique d'espèces accompagnatrices associées**	Prairies naturelles diversifiées en très bon état de conservation. Haies et de lisières forestières arbustives très présentes	Parcelles de grandes cultures mises en jachère de longue durée (de 3 à 5 ans avant déplacement), sans intervention sauf éventuellement en hiver ou Prairies naturelles de fauche à gestion extensive, avec un cortège végétal typique et diversifié, associées à des haies ou lisières forestières arbustives et/ou arborées	Habitat forestier feuillu diversifié en bon état de conservation, en éléments de superficie importante et bien connectés. Peuplement riche en gros bois, arbres à cavités, en bois mort de diamètre supérieur à 40 cm, au sol et sur pied	I4 Très fort
	Cortège des espèces prairiales normalement diversifié, avec des effectifs importants pour les individus communs. Les espèces patrimoniales sont présentes en effectifs significatifs.	Forte abondance et diversité des espèces d'habitats agricoles en toutes saisons, y compris pour les espèces patrimoniales	Non exploitation des gros et très gros bois, ainsi que des bois morts sur pied et au sol. Présence d'îlots de sénescence. Présence de mares fréquente	
			Cortège des espèces forestières normalement diversifié, avec densité forte d'espèces cavicoles. Présence d'espèces à grand territoire en période de reproduction.	

Annexe 9 Données, hypothèses et résultats des calculs dosimétriques réalisés avec le logiciel CERES®

9.1 Consommations alimentaires et débits respiratoires

Les consommations alimentaires proviennent d'une enquête locale réalisée en 2013 sur le territoire de Meuse-Haute-Marne. Sont prises en compte dans l'évaluation de l'exposition toutes les denrées alimentaires produites localement (le complément de la ration, non produit localement, n'est pas impacté par les émissions radioactives). Les quantités de produits autoconsommés sont présentées dans le tableau annexe 9-1.

Tableau Annexe 9-1 Consommations annuelles des personnes (kg.an^{-1})

	Enfant de 1 à 2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Choux	14,0	9,0	28,0
Carottes	0,0	12,0	16,0
Pommes de terre	24,0	31,0	31,0
Haricots	9,0	0,0	15,0
Tomates	0,0	29,0	15,0
Pommes	52,0	30,0	30,0
Viande (Bovin)	3,0	3,0	4,0
Viande (Mouton)	0,0	0,0	5,0
Viande (Porc)	0,0	3,0	6,0
Œuf (Poule)	0,0	8,0	10,0
Viande (Poule)	0,0	4,0	8,0
Lait (Vache laitière)	31,0	15,0	30,0

Les débits respiratoires moyens sont calculés à partir des temps passés par activité et des débits respiratoires associés, pour chaque classe d'âge proposée par la CIPR 89. Les données sont présentées dans le tableau annexe 9-2.

Tableau Annexe 9-2 Débits respiratoires (m^3.h^{-1})

Classe d'âge	Débit Respiratoire
Enfant de 1 à 2 ans	0,3
Enfant de 10 ans	0,6
Adulte	0,9

9.2 Filiations des éléments radioactifs prises en compte dans les calculs

Les filiations sont prises en compte par l'intermédiaire des coefficients de dose (isotopes notés + dans la base de données isotopes de CERES).

9.3 Facteurs de transfert des éléments radioactifs dans l'environnement

Les facteurs de transfert sol-plante, air-plante ainsi que des facteurs de transfert aux animaux d'élevage, sont issus du Technical Report Series n° 472 de l'AIEA, et reportées dans le tableau annexe 9-3, le tableau annexe 9-4 et le tableau annexe 9-5.

Tableau Annexe 9-3 Facteur de transfert sol/plante (Bq.kg^{-1} de végétal frais)/(Bq.kg^{-1} de sol sec)

Isotopes	Facteur de transfert sol/plante (Bq.kg^{-1} de végétal frais)/(Bq.kg^{-1} de sol sec)					
	Choux	Carottes	Pommes de terre	Haricots	Tomates	Pommes
^{14}C (CO_2)	$1{,}25 \times 10^{-1}$	$1{,}25 \times 10^{-1}$	$1{,}25 \times 10^{-1}$	$1{,}25 \times 10^{-1}$	$1{,}25 \times 10^{-1}$	0×10
HTO	0×10	0×10	0×10	0×10	0×10	0×10
OBT	0×10	0×10	0×10	0×10	0×10	0×10
^{231}Pa	4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-2}	$2{,}50 \times 10^{-3}$	$2{,}50 \times 10^{-3}$	$2{,}50 \times 10^{-3}$
^{239}Pu	$3{,}36 \times 10^{-5}$	$6{,}24 \times 10^{-5}$	$3{,}15 \times 10^{-5}$	$1{,}55 \times 10^{-5}$	$3{,}72 \times 10^{-6}$	8×10^{-6}
^{90}Sr	$1{,}44 \times 10^{-1}$	$9{,}76 \times 10^{-2}$	$2{,}73 \times 10^{-2}$	$3{,}50 \times 10^{-1}$	$8{,}40 \times 10^{-2}$	$3{,}90 \times 10^{-2}$
^{235}U	$5{,}16 \times 10^{-3}$	$4{,}00 \times 10^{-3}$	$5{,}88 \times 10^{-3}$	$5{,}75 \times 10^{-3}$	$1{,}38 \times 10^{-3}$	0×10

Isotopes	Facteur de transfert sol/plante (Bq.kg^{-1} de végétal frais)/(Bq.kg^{-1} de sol sec)			
	Foin	Herbe	Maïs four,	Blé
^{14}C (CO_2)	$1{,}25 \times 10^{-1}$	$1{,}25 \times 10^{-1}$	$1{,}25 \times 10^{-1}$	$1{,}25 \times 10^{-1}$
HTO	0×10	0×10	0×10	0×10
OBT	0×10	0×10	0×10	0×10
^{231}Pa	4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-2}
^{239}Pu	$1{,}26 \times 10^{-4}$	3×10^{-5}	$1{,}61 \times 10^{-5}$	$4{,}21 \times 10^{-6}$
^{90}Sr	$4{,}74 \times 10^{-1}$	$1{,}10 \times 10^{-1}$	$2{,}17 \times 10^{-1}$	$9{,}46 \times 10^{-2}$
^{235}U	$7{,}74 \times 10^{-3}$	$7{,}20 \times 10^{-3}$	$2{,}42 \times 10^{-3}$	$6{,}62 \times 10^{-3}$

Tableau Annexe 9-4 Facteur de transfert air-plante (sans dimension)

Isotopes	Facteur de transfert air/plante (sans dimension)					
	Choux	Carottes	Pommes de terre	Haricots	Tomates	Pommes
^{14}C (CO_2)	1×10	1×10	1×10	1×10	1×10	1×10
HTO	1×10	1×10	1×10	1×10	1×10	1×10
OBT	0×10	0×10	0×10	0×10	0×10	0×10
^{231}Pa	1×10	1×10^{-3}	1×10^{-3}	2×10^{-2}	2×10^{-2}	2×10^{-2}

Isotopes	Facteur de transfert air/plante (sans dimension)					
	Choux	Carottes	Pommes de terre	Haricots	Tomates	Pommes
^{239}Pu	1 × 10	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}	3×10^{-6}
^{90}Sr	1 × 10	5×10^{-3}	1×10^{-3}	2×10^{-2}	2×10^{-2}	$4{,}40 \times 10^{-3}$
^{235}U	1 × 10	1×10^{-3}	1×10^{-3}	2×10^{-2}	2×10^{-2}	2×10^{-2}

Isotopes	Facteur de transfert air/plante (sans dimension)			
	Foin	Herbe	Maïs four,	Blé
^{14}C (CO_2)	1 × 10	1 × 10	1 × 10	1 × 10
HTO	1 × 10	1 × 10	1 × 10	1 × 10
OBT	0 × 10	0 × 10	0 × 10	0 × 10
^{231}Pa	1 × 10	1 × 10	$2^{E} - 0^{2}$	2×10^{-2}
^{239}Pu	1 × 10	1 × 10	1 × 10·2	1×10^{-2}
^{90}Sr	1 × 10	1 × 10	2 × 10·2	2×10^{-2}
^{235}U	1 × 10	1 × 10	2×10^{-2}	2×10^{-2}

Tableau Annexe 9-5 Facteur de transfert aux produits animaux (j,kg^{-1})

Isotopes	Facteur de transfert aux produits animaux (j,kg-1)					
	Viande (Bovin)	Lait (Vache laitière)	Viande (Mouton)	Viande (Porc)	Œuf (Poule)	Viande (Poule)
^{14}C (CO_2)	$1{,}20 \times 10^{-1}$	5×10^{-2}	1,70 × 10	$5{,}80 \times 10^{-1}$	$2{,}30 \times 10^{-1}$	$2{,}30 \times 10^{1}$
HTO	$2{,}90 \times 10^{-2}$	$1{,}50 \times 10^{-2}$	$4{,}10 \times 10^{-1}$	$1{,}40 \times 10^{-1}$	5,80 × 10	5,80 × 10
OBT	$2{,}90 \times 10^{-2}$	$1{,}50 \times 10^{-2}$	$4{,}10 \times 10^{-1}$	$1{,}40 \times 10^{-1}$	5,80 × 10	5,80 × 10
^{231}Pa	1×10^{-3}	5×10^{-6}	1×10^{-2}	1×10^{-2}	4,10 × 10·3	4×10^{-3}
^{239}Pu	$1{,}10 \times 10^{-6}$	1×10^{-5}	$5{,}30 \times 10^{-5}$	8×10^{-5}	1,20 × 10·3	3×10^{-3}
^{90}Sr	$1{,}30 \times 10^{-3}$	$1{,}30 \times 10^{-3}$	$1{,}50 \times 10^{-3}$	$2{,}50 \times 10^{-3}$	$3{,}50 \times 10^{-1}$	2×10^{-2}
^{235}U	$3{,}90 \times 10^{-4}$	$1{,}80 \times 10^{-3}$	2×10^{-3}	$4{,}40 \times 10^{-2}$	1,10 × 10	$7{,}50 \times 10^{-1}$

9.4 Ration alimentaire des animaux

Les rations alimentaires des animaux d'élevage ont été calculées à partir des besoins énergétiques du bétail et des apports des aliments sur la base des recommandations de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA). Ces rations sont présentées dans le tableau annexe 9-6.

Tableau Annexe 9-6 Rations alimentaires annuelles des animaux (kg.an^{-1})

	Rations alimentaires annuelles des animaux (kg.an^{-1})				
	Bovin	Vache laitière	Mouton	Porc	Poule
Blé	1610	1610	0	803	44
Herbe	9 310	9 310	2 560	0	0
Maïs four,	0	0	0	0	0
Foin	1 530	1 530,00	0	0	0

9.5 Caractéristiques des cultures

Les caractéristiques des cultures sont présentées dans le tableau annexe 9-7.

Tableau Annexe 9-7 Caractéristiques des cultures

Culture	Rendement (kg.m^{-2})	Durée récolte (j)	Date récolte (j)	Début de consommation (j)	Fin de consommation (j)	Rapport de surface (-)	Indice foliaire (-)	Fraction de matière sèche (-)	Surface des cultures (m2)	Systèmes agricoles
Choux	3,5	42	-	-	-	1	0,5	0,12	100	Jardin
Foin	0,59	42	-	-	-	1	3	0,85	100	Champ
Herbe	1	42	-	-	-	1	3	0,17	100	Pâture
Carottes	3	-	30	30	360	0	2	0,16	100	Jardin
P, de terre	3	-	30	30	360	0	2	0,21	100	Champ
Haricots	0,4	30	-	-	-	0,1	2	0,25	100	Jardin
Maïs four,	2	30	-	-	-	1	3	0,31	100	Champ
Tomates	3	30	-	-	-	0,1	2	0,06	100	Jardin
Pommes	3,7	-	30	30	360	0,05	0,1	0,16	100	Verger
Blé	2	-	30	30	360	0,01	7	0,86	100	Champ

9.6 Caractéristiques des sols

Les caractéristiques des sols sont présentées dans le tableau annexe 9-8.

Tableau Annexe 9-8 Caractéristiques des sols

Groupe référence	Profondeur jardin (cm)	Masse volumique jardin (kg.m^{-3})	Pluie efficace jardin (mm.an^{-1})	Fraction Argile	Fraction Limon	Fraction Sable	Fraction Matière Organique	Irrigation jardin (mm.an^{-1})
Houdelaincourt ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0
Mandres ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0

Groupe référence	Profondeur jardin (cm)	Masse volumique jardin (kg.m^{-3})	Pluie efficace jardin (mm.an^{-1})	Fraction Argile	Fraction Limon	Fraction Sable	Fraction Matière Organique	Irrigation jardin (mm.an^{-1})
Ribeaucourt ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0
Saudron ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0
Échenay ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0
Bindeuil ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0
Gillaumé ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0
Bure ma	20	1 300	50	0,41	0,45	0,09	0,05	0
Bonnet ma	20	1 400	0	0,2	0,4	0,37	0,03	0

9.7 Conditions météorologiques

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 des conditions météorologiques, mesurées au pas de temps horaire, sur les 18 secteurs de 20° (18 × 20°= 360°) de la rose des vents, couvrant l'ensemble des directions et pour chacune des 5 classes de stabilité de Pasquill étudiées (A, B, C, D, E, F) avec ou sans pluie. Les valeurs distribuées en fonction de la vitesse du vent par secteur sont restituées dans les tableaux suivants. Un tableau par classe de stabilité atmosphérique est défini sachant que la totalité des occurrences météorologiques sont réparties sur l'ensemble des tableaux (répartition en pour mille).

Tableau Annexe 9-9 Conditions de diffusion : À sec

Secteur (°)	Vitesse représentative ($m.s^{-1}$)				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0
20	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0
40	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0
60	0,1	1,2	0,0	0,0	0,0
80	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0
100	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0
120	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0
140	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0
160	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0
180	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0
200	0,2	0,9	0,0	0,0	0,0
220	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0
240	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0
260	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0
280	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0
300	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0
320	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0
340	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0
Total (%)	0,3	1,2	0,0	0,0	0,0

Tableau Annexe 9-10 Conditions de diffusion : À pluie (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative ($m.s^{-1}$)				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
140	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
160	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
220	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
240	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
260	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
280	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
320	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
340	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau Annexe 9-11 Conditions de diffusion : B sec (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative (m.s^{-1})				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,2	2,4	1,4	0,0	0,0
20	0,2	2,0	1,9	0,0	0,0
40	0,2	3,3	4,4	0,0	0,0
60	0,1	3,9	5,6	0,0	0,0
80	0,3	3,7	3,5	0,0	0,0
100	0,4	4,3	2,5	0,0	0,0
120	0,2	2,6	1,4	0,0	0,0
140	0,5	2,9	1,5	0,0	0,0
160	0,5	4,0	2,2	0,0	0,0
180	0,6	6,4	2,8	0,0	0,0
200	0,9	6,4	3,5	0,0	0,0
220	0,8	5,7	3,2	0,0	0,0
240	0,5	3,1	2,6	0,0	0,0
260	0,5	3,7	3,3	0,0	0,0
280	0,6	5,2	3,7	0,0	0,0
300	0,7	6,6	4,8	0,0	0,0
320	0,3	3,9	1,3	0,0	0,0
340	0,3	3,5	1,6	0,0	0,0
Total (%)	0,8	7,4	5,1	0,0	0,0

Tableau Annexe 9-12 Conditions de diffusion : B pluie (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative (m.s^{-1})				
	0,05	2	4	6,5	10
0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
80	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
100	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
140	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
160	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
180	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0
200	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
220	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
240	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0
260	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
280	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0
300	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0
320	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
340	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Total (%)	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0

Tableau Annexe 9-13 Conditions de diffusion : C sec (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative ($m.s^{-1}$)				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,0	2,0	3,5	0,5	0,0
20	0,0	1,4	4,6	0,7	0,0
40	0,0	3,0	11,4	2,6	0,0
60	0,0	3,5	10,4	2,8	0,4
80	0,0	3,5	7,0	1,7	0,3
100	0,0	2,8	5,4	0,4	0,0
120	0,0	1,4	2,2	0,3	0,0
140	0,0	2,1	2,6	0,2	0,0
160	0,0	3,5	4,8	0,9	0,1
180	0,0	5,5	10,7	1,9	0,1
200	0,0	4,6	7,6	1,5	0,1
220	0,0	4,1	9,9	2,1	0,2
240	0,0	3,2	11,7	2,6	0,1
260	0,0	3,0	9,4	2,3	0,1
280	0,0	4,0	9,7	1,9	0,1
300	0,0	4,7	9,4	1,3	0,0
320	0,0	2,9	4,5	0,2	0,0
340	0,0	2,5	3,4	0,2	0,0
Total (%)	0,0	5,8	12,8	2,4	0,2

Tableau Annexe 9-14 Conditions de diffusion : C pluie (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative ($m.s^{-1}$)				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
20	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0
40	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0
60	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0
80	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0
100	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
120	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
140	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0
160	0,0	0,3	0,6	0,0	0,0
180	0,0	0,7	1,2	0,0	0,0
200	0,0	0,5	1,7	0,0	0,0
220	0,0	0,7	2,0	0,0	0,0
240	0,0	0,7	2,0	0,1	0,0
260	0,0	0,6	1,8	0,1	0,0
280	0,0	0,6	1,5	0,0	0,0
300	0,0	0,6	1,6	0,0	0,0
320	0,0	0,4	0,6	0,0	0,0
340	0,0	0,3	0,7	0,0	0,0
Total (%)	0,0	0,7	1,6	0,0	0,0

Tableau Annexe 9-15 Conditions de diffusion : D sec (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative ($m.s^{-1}$)				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,2
20	0,0	0,0	0,0	9,0	0,4
40	0,0	0,0	0,0	14,1	1,8
60	0,0	0,0	0,0	23,8	5,9
80	0,0	0,0	0,0	11,7	2,1
100	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0
120	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
140	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1
160	0,0	0,0	0,0	3,6	0,4
180	0,0	0,0	0,0	14,9	3,1
200	0,0	0,0	0,0	9,3	3,0
220	0,0	0,0	0,0	16,3	3,9
240	0,0	0,0	0,0	23,3	6,7
260	0,0	0,0	0,0	11,8	3,8
280	0,0	0,0	0,0	5,5	1,0
300	0,0	0,0	0,0	3,4	0,1
320	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0
340	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0
Total (%)	0,0	0,0	0,0	15,8	3,2

Tableau Annexe 9-16 Conditions de diffusion : D pluie (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative ($m.s^{-1}$)				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
20	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1
40	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
60	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1
80	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
100	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
120	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
140	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1
160	0,0	0,0	0,0	0,7	0,1
180	0,0	0,0	0,0	3,7	1,5
200	0,0	0,0	0,0	2,9	1,7
220	0,0	0,0	0,0	5,3	2,6
240	0,0	0,0	0,0	7,0	4,2
260	0,0	0,0	0,0	3,7	2,0
280	0,0	0,0	0,0	1,8	0,2
300	0,0	0,0	0,0	1,6	0,1
320	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1
340	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
Total (%)	0,0	0,0	0,0	3,1	1,3

Tableau Annexe 9-17 Conditions de diffusion : E (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative (m.s^{-1})				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0
40	0,0	0,0	15,1	0,0	0,0
60	0,0	0,0	18,3	0,0	0,0
80	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0
100	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0
120	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0
140	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0
160	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0
180	0,0	0,0	18,0	0,0	0,0
200	0,0	0,0	10,4	0,0	0,0
220	0,0	0,0	12,8	0,0	0,0
240	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0
260	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0
280	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0
300	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0
320	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0
340	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0
Total (%)	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0

Tableau Annexe 9-18 Conditions de diffusion : F (répartition en pour mille)

Secteur (°)	Vitesse représentative (m.s^{-1})				
	0,5	2	4	6,5	10
0	0,8	6,7	0,0	0,0	0,0
20	0,6	4,7	0,0	0,0	0,0
40	0,6	5,3	0,0	0,0	0,0
60	0,5	7,7	0,0	0,0	0,0
80	0,3	6,8	0,0	0,0	0,0
100	0,6	7,7	0,0	0,0	0,0
120	0,9	6,3	0,0	0,0	0,0
140	0,9	9,4	0,0	0,0	0,0
160	1,6	14,0	0,0	0,0	0,0
180	1,4	27,9	0,0	0,0	0,0
200	1,5	25,6	0,0	0,0	0,0
220	1,4	19,5	0,0	0,0	0,0
240	1,1	11,4	0,0	0,0	0,0
260	0,7	8,2	0,0	0,0	0,0
280	1,4	9,9	0,0	0,0	0,0
300	1,4	12,9	0,0	0,0	0,0
320	1,4	12,6	0,0	0,0	0,0
340	0,9	7,7	0,0	0,0	0,0
Total (%)	1,8	20,4	0,0	0,0	0,0

D'autres paramètres météorologiques moyens annuels sont nécessaires aux calculs CERES. Ils sont reportés dans le tableau annexe 9-19.

Tableau Annexe 9-19 Autres données météorologiques

Paramètre	Unité	Valeur
Hauteur de pluie annuelle	$mm.an^{-1}$	809
Nombre de jours de pluie	$j.an^{-1}$	176
Température de l'air	°C	10,3
Humidité relative de l'air	%	80

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 11
Figure 1-3 Des effets de différents types 12
Figure 1-4 Démarche éviter réduire compenser 13
Figure 1-5 Aire d'étude immédiate et aire d'étude spécifique à l'opération de sécurisation de la ligne aérienne 400 kV 15
Figure 1-6 Aires d'étude du milieu physique 16
Figure 1-7 Définition des aires d'étude du milieu physique au regard de la thématique eau 17
Figure 1-8 Aires d'étude du milieu naturel 18
Figure 1-9 Aires d'étude du milieu humain 20
Figure 1-10 Aires d'étude des activités agricoles et sylvicoles 22
Figure 2-1 Localisation des stations météorologiques d'Houdelaincourt, de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois 27
Figure 2-2 Photographie aérienne illustrant la station atmosphérique de Houdelaincourt et son environnement proche 28
Figure 2-3 Station météorologique d'Houdelaincourt 29
Figure 2-4 Démarche mise en œuvre par le logiciel ARIA Impact™ 32
Figure 5-1 À gauche : traçages hydrogéologiques et directions globales des écoulements dans les Calcaires du Barrois depuis la zone descenderie ; à droite : protection réglementaire des captages AEP (PPI : périmètre de protection immédiat ; PPR : périmètre de protection rapproché ; PPR périmètre de protection éloigné) dans l'aire d'étude éloignée 42
Figure 5-2 Tracé de la zone potentielle d'incidence (et incertitudes associées en pointillés) des installations de surfaces ZD et ZP du projet Cigéo) sur les eaux souterraines des Calcaires du Barrois 43
Figure 5-3 Processus de définition de l'état des masses d'eau souterraines (en cours de modification 45
Figure 5-4 *Réseau de suivi des eaux souterraines* 46
Figure 5-5 Carte des stations de jaugeage de l'observatoire pérenne de l'environnement et des services de l'État et recensées dans la Banque Hydro 53
Figure 5-6 Station de suivi en continu des eaux de surface (station OPE 90014 le long de l'Ornain) 54
Figure 5-7 Règle de détermination de l'état des masses d'eau selon la directive cadre sur l'eau (en cours de modification) 54
Figure 5-8 Règles de détermination de l'état écologique des masses d'eau 55
Figure 5-9 Carte des station de l'observatoire pérenne de l'environnement et de la Banque Hydro pour les prélèvements et les analyses qualitatives des eaux de surface 56
Figure 5-10 Carte de localisation des stations de mesure pluviographiques 63
Figure 5-11 Cumul des pluies à Cirfontaines-en- Ornois 67
Figure 5-12 Illustration de la situation hydraulique avant et après projet 72
Figure 6-1 Localisation des zones d'inventaires sur le milieu naturel 88
Figure 6-2 Exemple de plaque refuge (source Egis) 90
Figure 6-3 Illustration des pièges à crottes et pièges à poils (Source GREGE) 92
Figure 6-4 Schéma de la démarche d'appréciation des enjeux écologiques 94
Figure 6-5 Schéma de la démarche d'analyse des enjeux écologiques 98
Figure 6-6 Étapes pour le choix des sites de compensation écologique 101
Figure 6-7 Schéma de la méthode miroir (adapté de Biotope) 102
Figure 6-8 Étapes de calcul de la dette compensatoire écologique 103
Figure 6-9 Principe de la mutualisation en application sur la zone puits (d'après Biotope) 105
Figure 6-10 Étapes de calcul du gain compensatoire 105
Figure 6-11 Étapes de l'évaluation des incidences Natura 2000 107
Figure 8-1 Indice du prix du lait AOP/IGP et conventionnel 120
Figure 10-1 Filières de gestion développées pour les différentes catégories de déchets 126
Figure 12-1 Périmètre de la modélisation de trafic 133
Figure 12-2 Carte représentant les centroïdes et les connecteurs au sein du modèle 134
Figure 12-3 Carte du réseau modélisé au sein du modèle en fonction de la catégorie de voirie 136
Figure 12-4 Cartographie des 157 comptages intégrés au sein du modèle 137
Figure 12-5 Itinéraires ayant fait l'objet d'une vérification des temps de parcours 138
Figure 12-6 Comparaison des trafics issus du modèle et des comptages 139
Figure 12-7 Comparaison entre les comptages et les résultats du modèle après le calage automatique 140
Figure 12-8 Profil horaire moyen pour les VL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo 141
Figure 12-9 Profil horaire moyen pour les PL sur le RRN à proximité du projet global Cigéo 141
Figure 12-10 Profil horaire moyen "tous véhicules" sur le réseau départemental à proximité du projet global Cigéo 141
Figure 12-11 Carte des interdictions PL mise en place au sein du modèle de trafic. 143
Figure 13-1 Échelle des seuils de vibration retenus pour l'évaluation des effets vibratoires 155
Figure 14-1 Composantes d'analyse du paysage 158
Figure 16-1 Les principaux écosystèmes présents dans les aires d'étude éloignées et immédiates autour de Cigéo (source : Corine Land Cover 2018 et BD Topo IGN). 165
Figure 16-2 Schématisation du critères « aire d'étude » pour le choix des projets retenus pour l'étude des effets cumulés avec le projet global Cigéo 172
Figure 17-1 Localisation des points de prélèvement des échantillons pour les mesures de la radioactivité 176
Figure 17-2 Démarche générale d'évaluation des incidences radiologiques et du risque sanitaire associé 180
Figure 17-3 Principes de calcul de l'estimation des rejets gazeux 181
Figure 17-4 Représentation d'une bouffée gaussiennes et classes de stabilité 184
Figure 17-5 Voies de transfert et d'exposition des émissions atmosphériques 185
Figure 18-1 Représentation schématique des différentes voies de migration des radionucléides depuis les colis jusqu'aux exutoires 197
Figure 18-2 Illustration des voies de transfert à l'homme 197
Figure 18-3 Flux mensuel de PL sur les zones puits et descenderie 202
Figure 18-4 Flux mensuel de VL sur les zones puits et descenderie 202
Figure 18-5 Flux quotidien de PL sur les zones puits et descenderie 203
Figure 18-6 Flux quotidien de VL sur les zones puits et descenderie 203
Figure 18-7 Flux quotidiens PL sur la LIS 204
Figure 18-8 Flux quotidien VL sur le LIS 204

Figure Annexe 4-1 Hyétogramme instantanée « Keifer » obtenu à partir de la courbe Intensité-Durée-Fréquence associée 231

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Le principe de proportionnalité dans l'évaluation environnementale. Ministère de la transition écologique et solidaire (2019). Disponible à l'adresse : https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-33914-evaluation-environnementale-principe-proportionnalite.pdf.

2 Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (2006).

3 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.

4 Dossier de validation du logiciel ARIA Impact. ARIA Technologies (2009). ARIA/2007 105. 29 p.

5 ARIA Impact Note de principe et Notice d'utilisation. Version 1.8. ARIA Technologies (2013). 224 p.

6 Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Gestion des sites potentiellement pollués par des substances radioactives. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN); Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2011). 120 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/Guide-Gestion-des-sites-potentiellement-pollues-par-des-substances-radioactives.

7 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.

8 Missions d'ingénierie géotechnique : Classification et spécifications. AFNOR (2013), NF P 94-500.

9 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.

10 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.

11 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).

12 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).

13 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.

14 Qualité de l'eau - Protocole d'évaluation initiale des performances d'une méthode dans un laboratoire. AFNOR (2018), NF T90-210.

15 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.

16 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 (2007). Journal officiel de l'Union européenne.

17 Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (2010). Journal officiel de la République française.

18 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.

19 Ditche, J.M., Blanchard, C. Réseau hydrobiologique et piscicole. Bassin Seine Normandie. Synthèse des données 1995-2004. ONEMA (2009).

20 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).

21 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).

22 Le SDAGE 2016-2021 du bassin de la Seine des cours d'eau côtiers normands. Eau Seine Normandie (2015).

23 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.

24 Etat des lieux 2013 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands - Synthèse. Eau Seine Normandie (2013).

25 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.

26 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 T 90 523-1.

27 Le prélèvement d'échantillons en rivière. Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques. Agence de l'eau Loire Bretagne (2006). Guide technique.

28 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 T 90 733.

29 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 T 90 788.

30 Circulaire DCE n°2007/22 du 11/04/07 relative au protocole de prélèvement et de traitement des échantillons des invertébrés pour la mise en oeuvre 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.

31 Guide technique d'accrédiation. Analyses biologiques des milieux aquatiques. Révision 00. COFRAC (2018). LAB GTA 41. 15 p. Disponible à l'adresse : https://tools.cofrac.fr/documentation/LAB-GTA-41.

32 Qualité de l'eau - Échantillonnage, traitement et analyse de diatomées benthiques en cours d'eau et canaux. AFNOR (2016), NF T 90 354.

33 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.

34 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.

35 Décret n°58-873 du 16 septembre 1958 déterminant le classement des cours d'eau en deux catégories. Version consolidée (1985).

36 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 (2012).

37 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.

38 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.

39 Assainissement routier - Guide technique. SETRA (2006).

40 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).

41 Guidelines for water reuse. United States Environmental Protection Agency (EPA) (2012). EPA/600/R-12/618. 643 p. Disponible à l'adresse : https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1530.pdf.

42 Eau de gâchage pour bétons. Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton. AFNOR (2003), NF EN 1008.

43 Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (2014).

44 Étude de restructuration du SIAEP de la région d'Echenay pour une alimentation depuis les sources de Thonnance (rapport d'étude, version définitive). Artélia (2018).

45 Forage d'alimentation en eau potable de Gondrecourt le Chateau : assistance à maîtrise d'ouvrage pour le suivi hydrogéologique des essais de pompage - Rapport d'interprétation des essais. Artélia (2018). 8 41 1817-B.

46 Fradet, P. Procédure de définition des périmètres de protection des captages AEP d'Echenay - Révision - Source "Massonfosse" / BSS n° 0265-7X-0007/AEP Forage « 1977 » / BSS n° 0265-7X-0030/F2. Département de la Haute-Marne; Commune d'Echenay (2016). 16-52-HPP-510.

47 Schwaab, F., Knochel, A. Connaître et Protéger les Chauves-souris de Lorraine. CPEPESC Lorraine (2009). ISBN : 978-2953300604.

48 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.

49 Catalogue de la flore vasculaire de Champagne-Ardenne. Conservatoire botanique nationale du Bassin Parisien (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.

50 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 (1992). Journal officiel des Communautés européennes. Vol L206, pp.7–50.

51 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.

52 Arrêté du 20 janvier 1982 fixant la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire (2013).

53 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).

54 Arrêté du 8 février 1988 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Champagne-Ardenne complétant la liste nationale. Journal officiel de la République française (1988).

55 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.

56 Liste rouge régionale de la flore vasculaire de Lorraine : évaluation du risque de disparition selon la méthodologie et la démarche de l'UICN. Pole lorrain du futur conservatoire botanique national du Nord-Est (2015). 16 p. Disponible à l'adresse : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/liste_rouge_lorraine_flore_vasculaire_2015.pdf.

57 Liste des espèces déterminantes de Lorraine. CSRPN Lorraine; DREAL Grand Est (2015).

58 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.

59 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).

60 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.

61 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.

62 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.

63 Bensettiti, F., Gaudillat, V., Haury, J.K. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 3 - Habitats humides. La Documentation Française (2002).

64 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).

65 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).

66 Bensettiti, F., Herard-Logereau, K., van Es, J., Balmain, C. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 5 - Habitats rocheux. La Documentation Française (2004).

67 Bensettiti, F., Bioret, F., Roland, J., Lacoste, J.-P. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers. La Documentation Française (2004).

68 Bensettiti, F., Boullet, V., Chavaudret-Laborie, C., Deniaud, J. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 4 - Habitats agropastoraux. La Documentation Française (2005). Vol 1 & 2.

69 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).

70 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.

71 La liste rouge des espèces menacées en France - Orchidées de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle; FCBN; SFO (2010).

72 Liste rouge de la flore vasculaire Champagne-Ardenne. UICN (2018).

73 Floraine. Atlas de la flore Lorraine. A Propos De (2013). ISBN : 979-1090826151.

74 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.

75 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).

76 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Insectes. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

77 Nieto, A., Alexander, K. European Red List of saproxilics beetles. Office for official publications of the European Communities; UICN (2010).

78 La liste rouge des espèces menacées en France - Libellules de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2016).

79 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.

80 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Amphibiens. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

81 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).

82 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.

83 Temple, H., Cox, J., Neil, A. European Red List of reptiles. Office for official publications of the European Communities; IUCN (2009).

84 La liste rouge des espèces menacées en France. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2015).

85 Temple, H., Cox, J., Neil, A. European Red List of amphibians. Office for official publications of the European Communities; UICN (2009).

86 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Reptiles. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

87 Liste rouge des amphibiens et reptiles de Lorraine. UICN; Conservatoire d'espaces naturels Lorraine; LORINAT; Commission reptiles et amphibiens de Lorraine (2016).

88 Birdlife International. European Red List of birds. Office for official publications of the European Communities; UICN (2015).

89 La liste rouge des espèces menacées en France - Oiseaux de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2016).

90 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Oiseaux nicheurs. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

91 La liste rouge des espèces menacées en France - Mammifères de France métropolitaine. UICN; Museum national d'histoire naturelle (2017).

92 Liste rouge de Champagne-Ardenne - Mammifères. DIREN Champagne-Ardenne (2007).

93 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.

94 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). FI6R-CT-2004-508847. 82 p. Disponible à l'adresse : https://wiki.ceh.ac.uk/download/attachments/115017395/D-Erica.pdf.

95 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.

96 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.

97 Données d'entrée pour les acteurs du territoire en vue de préparer l'intégration du projet Cigéo. Andra (2016). Document N°CG.TE.D.NTE.AMOA.CMO.0000.15.0065/A.

98 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.

99 Évaluation des coûts afférents à la mise en oeuvre 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°CG.TE.F.NTE.AMOA.EEE.0000.14.0107/A. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/cout-cigeo-t1.pdf.

100 Évaluation des coûts afférents à la mise en oeuvre 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°CG.TE.F.NTE.AMOA.EEE.0000.14.0068/B. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/cout-cigeo-t2.pdf.

101 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/.

102 GIP Objectif Meuse : accompagnement économique laboratoire Bure-Saudron. Objectif Meuse (2019). Consulté le 12/11/2019. Disponible à l'adresse : https://www.objectifmeuse.org/.

103 Boschiero, B. Grand-Est Chiffres clés. Chambre d'agriculture Grand-Est (2017). 6 p.

104 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). 24 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento2018_cle49b589.pdf.

105 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). 24 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento2019_cle486374.pdf.

106 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.

107 Agreste Grand Est : Fiche territoriale Canton de Poissons. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 20 p.

108 Agreste Grand Est : Fiche territoriale Canton Gondrecourt le Château. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 19 p.

109 Agreste Grand Est : Fiche territoriale Canton Ligny-en-Barrois. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 20 p.

110 Agreste Grand Est : Fiche territoriale Canton de Montier sur Saulx. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation; DRAAF Grand Est (2018). 20 p.

111 Atlas régional Grand Est. Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt; Agreste Grand Est (2017). 92 p.

112 Agreste Grand Est : Statistique agricole : Mémento de l'emploi - Edition 2018. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2019). 28 p.

113 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.

114 Quelles disponibilités en bois en Grand Est ? Etat 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.

115 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). 3 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/52-haute-marne_cle825223.pdf.

116 Filière forêt-bois - département de la Meuse - Edition 2019. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation; DRAAF Grand Est; INSEE Grand Est; Fibois Grand Est (2019). 3 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/55-meuse_cle83f136.pdf.

117 Loi n°2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt (2017).

118 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.

119 Lignes aériennes RTE (au 6 juin 2020). Open Data Réseaux Energies (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.

120 Grandes Infrastructures gazières - Données 2019. Open Data Réseaux Energies (2019). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://opendata.reseaux-energies.fr/explore/dataset/les_grandes_infrastructures_gazieres/information/.

121 Atlas du réseau ferré en France. SNCF Réseau (2019). 84 p. Disponible à l'adresse : https://flipbook.sncf-reseau.fr/atlas-rfn#p=0.

122 Le Corre, M., Gerbollet, J., Larose, S. Étude de trafic : incidence du projet Cigéo. CEREMA (2019). 148 p.

123 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.

124 Tonne d'équivalent pétrole / tep. INSEE (2020). Consulté le 29/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1355.

125 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.

126 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.

127 Bruit d'environnement - Rapport de mesures acoustiques - Etat 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. SOCOTEC Industrie (2015). CGRPFGES150025.

128 Bruit d'environnement - Rapport de mesures acoustiques - Etat 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. SOCOTEC Industrie (2015). CGRPFGES160003.

129 Bruit d'environnement et vibratoire - Rapport de synthèse de mesures - Etat de référence des niveaux sonores et vibratoires dans les environs proches et au niveau des sites d'implantation du futur centre de stockage Cigéo. SOCOTEC Industrie (2015). CGRPFGES160001.

130 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.

131 Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Méthodes particulières de mesurage. AFNOR (1996), NF S 31 010.

132 Électroacoustique - Calibreurs acoustiques. AFNOR, CEI (2018).

133 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).

134 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.

135 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.

136 Arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique (2020). Journal officiel de la République française, N°ECOI0100130A.

137 Rapport de synthèse des modélisations acoustiques. Andra (2017).

138 Acoustique, atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - partie 1: Calcul de l'absorption atmosphérique. ISO (1993), ISO 9613-1.

139 Acoustique, atténuation des sons lors de sa propagation à l'air libre - partie 2: Méthode générale de calcul. ISO (1996), ISO 9613-2.

140 Prévision du bruit routier - 2 - Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008). SETRA (2009). Guide technique.

141 Acoustique - Bruit dans l'environnement - Calcul de niveaux sonores. AFNOR (2001), NF S 31 133.

142 Projet Cigéo - Mesures vibratoires. SOCOTEC Industrie (2015). CGRPFGES160004.

143 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.

144 Chapot, P. Loi expérimentale de propagation des vibrations dues aux tirs d'explosifs. Revue Française de géotechnique (1981). Vol Deuxièmes journées nationales géotechniques 11 et 12 mars 1981 à Nantes, N°14bis, pp.109–13.

145 L'utilisation du guide pour la mesure et le suivi de l'effet des vibrations induites par les travaux. AFTES (2008), GT3R2F2.

146 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, ISO (2014), NF ISO 2631-2.

147 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.

148 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.

149 Éoliennes de la région Grand Est au 06/09/2019. geo.data.gouv.fr (2019). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/4a932da7537a50f486d9ae2e1ede0871f577f2bf.

150 Corine Land Cover. Ministère de la transition écologique et solidaire; Ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales (2018). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0.

151 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.

152 Évaluation environnementale Infrastructures de transport et urbanisation : préconisations méthodologiques. Ministère de la transition écologique et solidaire (2018).

153 EFESE, Commissariat général au développement durable (CGDD). La séquestration de carbone par les écosystèmes en France. La Documentation Française (2019). Théma Analyse. ISBN : 978-2-11-145968-7.

154 Costanza, R. Ecosystem Services in Theory and Practice. Routledge Handbook of Ecosystem Services (2016), pp.15-24.

155 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). 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.

156 Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. IAEA (1989). TRS00295. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs295_web.pdf.

157 Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Sol - Partie 5 : mesurage du strontium 90. AFNOR (2009).

158 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.

159 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.

160 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.

161 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.

162 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.

163 Qualité de l'eau - Détermination de l'activité volumique des radionucléides - Méthode par spectrométrie gamma à haute résolution. AFNOR (2016), NF EN ISO 10703.

164 Qualité de l'eau - Activités alpha globale et bêta globale - Méthode d'essai par dépôt d'une source fine. ISO (2019), ISO 10704.

165 Granet, M., Chabaux, F., Stille, P., France-Lanord, C., Pelt, E. Time-scales of sedimentary transfer and weathering processes from U-series nuclides: Clues from the Himalayan rivers. Earth and Planetary Science Letters (2007). Vol 261, N°3-4, pp.389-406.

166 Monfort, M. Comparaison des codes de calcul de dispersion atmosphérique en fonctionnement normal GASCON et COTRAM. CEA (2011). SIM CEACI RBC DET 110000104 A. 19 p.

167 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. CEA (2011). SIM SCGCI RBC NT 11000608 A. 48 p.

168 Briggs, G.A. Diffusion estimation of small emissions. Preliminary report. National Oceanic and Atmospheric Administration (1973). TID-28289. 64 p. Disponible à l'adresse : https://www.osti.gov/servlets/purl/5118833.

169 IAEA. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. IAEA (2001). 19. 217 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1103_scr.pdf.

170 Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA 006) Omega 12. Dispersion atmosphérique (Mécanismes et outils de calcul). INERIS (2002). INERIS DRA 2002 25427. Disponible à l'adresse : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/46web.pdf.

171 Belot, Y., Roy, M., Métivier, H. Le tritium : de l'environnement à l'homme. Les Editions de Physique (1996). ISBN : 2-86883-275-X.

172 Durand, V., Leclerc, E., Renaud, P. The consumption of locally-produced foodstuff : An important parameter of the radiological exposure for population living in the vicinity of French nuclear facilities. Radioprotection (2018). Vol 53, N°3, pp.185-92.

173 ICRP Publication 89 : Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. Annals of the ICRP (2002). Valentin, J. Vol 32, N°3-4, 265 p.

174 Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. IAEA (2010). 472. 208 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs472_web.pdf.

175 Monfort, M., Lambert Wentzler, L., Patryl, L., Armand, P. Présentation de la plate-forme CERES destinée à l'évaluation des conséquences sanitaires des rejets de polluants dans l'environnement. Radioprotection (2019). Vol 54, N°3, pp.195-201.

176 Eckerman, K.-F., Ryman, J.-C. External exposure to radionuclides in air, water, and soil. United States Environmental Protection Agency (EPA) (1993). EPA 402-R-93-081. Disponible à l'adresse : https://www.epa.gov/radiation/federal-guidance-report-no-12-external-exposure-radionuclides-air-water-and-soil.

177 Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Ministère de la santé, de la famille et des personnes handicapées (2003). Journal officiel de la République française, N°262, pp.58003-68.

178 ICRP Publication 66 : Human respiratory tract model for radiological protection. Elsevier science Ltd (1994). 66. 482 p. Disponible à l'adresse : https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_24_1-3.

179 Directive n°96/29/EURATOM du Conseil du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. Commission Européenne (1996). Journal officiel des Communautés européennes, N°L59, pp.1-114.

180 Comparaison des résultats des codes de dispersion atmosphérique et de conséquences radiologiques utilisés en situation d'urgence par le CEA et l'IRSN. CEA (2013). VAL CEACI RBC DET 11000429 B. 60 p.

181 "Reference biospheres" for solid radioactive waste disposal. Report of biomass theme 1 of the Biosphere modelling and Assessment (BIOMASS) programme. IAEA (2003). IAEA-BIOMASS-6. 560 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Biomass6_web.pdf.

182 Environmental noise guidelines for the European Region. World Health Organization (2018). 181 p. Disponible à l'adresse : http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1.

183 Recommandation du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) (1999/519/CE). Conseil de l'Union Européenne (1999). Journal officiel des Communautés européennes, N°L199, pp.59-70.

184 Note technique du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières (2019).

185 Grammont, V., Boudet, C. Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires liés aux émissions chimiques émises par les installations classées. Impact des activités humaines sur les milieux et la santé sur les milieux et la santé. INERIS (2013). DRC - 12 - 125929 - 13162B. 102 p. Disponible à l'adresse : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris-DRC-12-12592-13162B-Evaluation-de-l-Etat-des-milieux-et-des-risques-sanitaires.pdf.

186 Circulaire du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation (2013). Bulletin officiel du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, N°16, pp.63-70.

187 Évaluation des risques sanitaires dans les analyses de zone. Utilité, lignes méthodologiques et interprétation. Haut Conseil de la Santé Publique (2010). 89 p. Disponible à l'adresse : https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspr20101221_ersaz.pdf.

188 Avis du 7 mai 1997 relatif au benzène dans les carburants. Commission de la Sécurité des Consommateurs (1997).

189 Rieu, J., Niel, J.-C., Bodenez, P. Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2008). 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/guide_RFSIII_2_fV1_2_.

190 Dossier d'options de sûreté - partie après fermeture (DOS-AF). Andra (2016). Document N°G-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-15-0062. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-apres-fermeture_0.pdf.

191 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).

192 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.

© Andra • 2021 • Création graphique : Agence Les Récréateurs • Crédits photos : 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