

SUPPRESSION DU PASSAGE A NIVEAU N°4 (PN4) SAINT-GREGOIRE (35)



DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE VOLET C2 – ANNEXES DE L'ÉTUDE D'IMPACT



SUPPRESSION DU PASSAGE À NIVEAU PN4 À SAINT-GRÉGOIRE



ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

29 mai 2024



Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s) F. LIMBADA
Fonction Ingénieur d'Études
Volume du document
Version V1
Référence
Numéro CRM
Chrono

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Vérfié par	Fonction	Signature
V1	17/04/2023	V.ROBINET	Chef de projet	
V2	29/05/2024	V.ROBINET	Chef de projet	

SOMMAIRE

1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	7
2 - MÉTHODOLOGIE.....	8
2.1.1 - Introduction.....	8
2.1.2 - Présentation de la méthodologie.....	8
2.1.3 - Principe de calcul.....	9
2.1.4 - Traitement des incertitudes.....	10
3 - ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE.....	12
3.1 - Périmètre de l'évaluation	12
3.2 - Identification des postes émetteurs de GES	13
3.3 - Hypothèses et Facteurs d'émissions	14
3.4 - Phase chantier/construction.....	15
3.5 - Phase d'exploitation : indications d'ordre de grandeur	17
3.5.1 - Trafic routier	17
3.5.2 - Consommations énergétiques liées au trafic.....	18
3.5.3 - Entretien et maintenance de l'infrastructure	18
3.6 - Indications d'émissions de GES et de stockage carbone par la végétation et trame bleue liée au projet	19
4 - BILAN ET MESURES ERC.....	21
4.1 - Bilan	21
4.2 - Pistes pour la mise en place de mesures ERC	21
5 - ANNEXES	23

RÉFÉRENCES

Figure 1 : Capacités d'accélération de la décarbonisation au cours des différentes étapes d'un projet	10
Figure 2 : Émissions de Gaz à Effet de Serre en phase construction (en %)	16
Figure 3 : Résultats phase construction – répartition par postes émissifs (en T éqCO ₂)	16
Figure 4 : Plan d'échantillonnage des mesures concernant la qualité de l'air	18
Figure 5 : Extrait de la Méthode Haies	20
Tableau 1 : Principales bases de données utilisées.....	10
Tableau 2 : Résultats de l'évaluation des émissions carbone pour la phase de construction	15
Tableau 3 : Résultats des estimations de dioxyde de carbone de la modélisation de l'étude air santé	17
Tableau 4 : Résultat de l'évaluation des émissions de GES pour l'entretien et la maintenance du projet (phase d'exploitation)	19
Tableau 5 : Tendances des ordres de grandeurs d'émissions en GES avec et sans projet	21
Tableau 6 : Émissions de GES en phase construction – Installation de chantier, ouvrages provisoires, travaux préparatoires	23
Tableau 7 : Émissions de GES en phase construction – libération des emprises et terrassements	24
Tableau 8 : Émissions de GES en phase construction – Voiries et équipements associés	25
Tableau 9 : Émissions de GES en phase construction – espaces urbains : mobiliers, maçonneries, plantations.....	26
Tableau 10 : Émissions de GES en phase construction - Réseaux.....	27

GLOSSAIRE

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

CEREMA : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CO2 : Dioxyde de Carbone

CFC : Chlorofluorocarbures

CH4 : Méthane

ERC : Eviter Réduire Compenser

FE : Facteur d'Emissions

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat

HFC : Hydrofluorocarbures

N2O : Protoxyde d'azote

NF3 : Trifluorure d'azote

OA : Ouvrage d'Art

PFC : Hydrocarbures Perfluorés

SF6 : Hexafluorure de soufre

SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone

1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Le projet soumis à demande d'autorisation environnementale concerne le projet de suppression du passage à niveau PN4 et l'aménagement d'un nouveau franchissement routier à Saint-Grégoire.

L'objet de ce chapitre est d'évaluer l'impact en termes de gaz à effet de serre (GES) de ce projet pour son volet infrastructures routières.

L'évaluation prend en compte les émissions de GES :

- générées par les travaux d'infrastructures et de réseaux ;
- générées par le changement d'occupation des sols et les principaux postes d'aménagement paysagers.

La phase d'exploitation du projet de nouveau franchissement inclut :

- les émissions liées au trafic routier passant par ce franchissement ;
- les travaux d'entretien.

En l'absence de données pouvant décrire pertinemment la part d'émissions en GES du projet à travers ces postes d'émissions, il a été choisi de ne pas donner d'évaluation quantitative pour cette partie du projet. Cela concerne des petits postes d'émissions comme la dépose de petits ouvrages hydrauliques ou d'objets ponctuels comme des ventouses ou une barrière en bois.

Le projet comprend des aménagements paysagers qui seront mis en place lors de la phase de construction et évolueront en phase d'exploitation. Comme cité précédemment, l'évaluation de cette présente étude renseigne sur des ordres de grandeurs de GES pouvant être générés lors des travaux des principaux postes de travaux (mises en œuvre de plantations, adoucissement des berges, ...). Cependant, en l'état actuel des connaissances sur le stockage de carbone par la végétation, aucune estimation quantitative du stockage carbone provenant de la végétation, tant en phase construction qu'en phase d'exploitation n'est donné. Ce choix est motivé par l'absence de consensus sur des valeurs génériques de stockage en carbone de la végétation (végétation héliophyte, mésophile ou boisement dans le cas du projet) et de certains types d'habitats comme les zones humides. Cependant, des indications sur le stockage ou les émissions possibles de GES liés aux aménagements paysagers inhérents au projet sont donnés au chapitre 3.6 - .

L'objectif de l'étude est ainsi d'estimer l'impact du projet du point de vue de la lutte contre le changement climatique.

2 - MÉTHODOLOGIE

2.1.1 - Introduction

L'**empreinte carbone** ou l'**évaluation des émissions de GES** est une méthode d'analyse environnementale internationale monocritère qui comptabilise les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) directes et indirectes engendrées par une activité, un produit ou un projet.

La réalisation d'une empreinte carbone projet s'appuie sur les grands principes de la méthodologie d'**Analyse de Cycle de Vie** (ACV) et des standards internationaux associés. Ainsi, la méthodologie utilisée par EGIS repose sur les normes et réglementations suivantes :

- ISO 14040 / ISO 14044 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre - Exigences et lignes directrices ;
- ISO 14 025 : Marquages et déclarations environnementaux - Déclarations environnementales de type III - Principes et modes opératoires ;
- EN 15 804 « Bâtiment » : Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction ;
- ISO 21931 (EN 15 978) « Bâtiment » : Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Évaluation de la performance environnementale des bâtiments - Méthode de calcul ;
- EN 17 472 « Infrastructure » : « Sustainability of construction works- Sustainability assessment of civil engineering works-Calculation methods ».

L'approche choisie pour l'empreinte carbone des projets est une ACV de type attributionnelle (ACV-A) sauf précision contraire. Cette approche ne prend pas en compte l'évolution potentielle future des émissions de GES avec le temps en raison des innovations technologiques, des changements de pratiques ou des réglementations gouvernementales.

2.1.2 - Présentation de la méthodologie

L'empreinte carbone d'un projet permet d'évaluer, en ordre de grandeur, les émissions de GES engendrées par l'ensemble des processus physiques nécessaires à l'existence de cette activité.

L'empreinte carbone d'un projet repose sur les principes suivants :

- **Approche multi-étape** : on évalue le projet sur l'ensemble de son cycle de vie de l'extraction des matières première jusqu'à la fin de vie. Cette approche peut être restreinte par l'exclusion de certaines étapes définies dans le périmètre de l'étude.
- **Approche monocritère** : les méthodologies d'ACV proposent un cadre pour l'évaluation de nombreux indicateurs environnementaux (par exemple l'eutrophisation, l'épuisement des ressources ou encore la destruction de la couche d'ozone). Dans le cadre d'une empreinte carbone seul l'indicateur changement climatique est évalué.
- **Périmètre et unité fonctionnelle** : la comparaison de différents scénarios ou variantes doit se faire sur le même périmètre et pour la même fonction.

L'empreinte carbone consiste à traduire des données d'activité observables en émissions de gaz à effet de serre grâce à l'application de coefficients de conversion, également appelés Facteurs d'Emission (FE). L'empreinte carbone permet de prendre en compte les 7 gaz à effet de serre listés dans le Protocole de Kyoto :

- **Le dioxyde de carbone (CO₂)**, issu de la déforestation et de l'utilisation de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz). Les émissions de CO₂ organiques sont responsables de 69% de l'effet de serre induit par les activités humaines.
- **Le méthane (CH₄)**, généré par la fermentation de matières organiques en l'absence d'oxygène (marais, rizières...) mais aussi par les fuites liées à l'utilisation d'énergies fossiles comme le gaz naturel

ou le charbon, ou encore par l'élevage. Il est responsable de 18% de l'effet de serre induit par les activités humaines.

- **Le protoxyde d'Azote (N2O)**, il résulte de l'oxydation dans l'air de composés azotés et ses émissions sont dues pour 2/3 à l'usage de fumier et d'engrais. Il est également utilisé comme gaz propulseur dans les aérosols. Il est responsable de 5% de l'effet de serre induit par l'activité humaine.
- **Les gaz dits « industriels » (HFC, PFC, SF6, NF3)**, car n'existant pas à l'état naturel mais produits par l'homme. Ils sont utilisés pour la production de froid, dans les climatiseurs, réfrigérateurs, et autres systèmes industriels. Même s'ils sont présents en très faible concentration dans l'atmosphère, certains d'entre eux ont un pouvoir de réchauffement global (PRG) très important.

Cette méthode permet de couvrir de manière exhaustive l'ensemble des sources d'émissions directes ou indirectes de GES.

La réalisation de l'empreinte carbone d'un projet se déroule généralement en 6 étapes clés :

1. **Préparation de l'étude** : définition des objectifs, des méthodologies et des outils
2. **Définition du champ de l'étude** : périmètre temporel, périmètre spatial et fonctionnel
3. **Définition des postes d'émissions et collecte des données** : identification des postes d'émissions pour les différents scénarios étudiés, collecte des données d'activités et des facteurs d'émissions associés.
4. **Analyse et présentation des résultats** : présentation des résultats totaux et par catégorie, comparaison entre les différents scénarios et identification des postes les plus émetteurs
5. **Mesures ERC (Eviter Réduire Compenser)** : identification des mesures permettant la réduction de l'impact du projet
6. **Rapport** : synthèse de la démarche dans un rapport

2.1.3 - Principe de calcul

L'empreinte carbone ne nécessite pas de mesure directe des émissions mais elle s'apparente à une démarche comptable. Pour cela deux données doivent être collectées :

- **Une donnée d'activité** : par exemple : la consommation de carburant, le volume d'acier consommé, etc.
- **Un facteur d'émission associé** : c'est un coefficient permettant de convertir les données d'activité en émission de GES. C'est le taux d'émission moyen d'une source donnée.

Pour une activité donnée, les émissions sont le produit entre une donnée d'activité exprimée dans une unité d'œuvre caractérisant l'activité du poste d'émissions (quantités de matériaux mise en œuvre, transports de matières premières, consommations de carburants etc.) et un facteur d'émission exprimé en une unité commune : équivalent CO₂ par unité de données d'activité.



$$\text{Empreinte carbone}_{\text{projet}} = \sum \text{émissions de l'ensemble des postes}$$

Les facteurs d'émissions sont calculés à partir des inventaires nationaux de chaque filière. Ils correspondent à des procédés élémentaires de fabrication, de transport ou de mise en œuvre. Les facteurs d'émissions utilisés dans les études proviennent de différentes bases de données internationales ou françaises.

TABLEAU 1 : PRINCIPALES BASES DE DONNÉES UTILISÉES

■ Base de données	■ Périmètre géographique
■ Base de données Evacarbone (outil interne EGIS) construite à partir des travaux de recherche en interne	■ France dans le cadre de ce projet
■ Base Empreinte, ADEME	■ France
■ INIES	■ France
■ CEREMA	■ France
■ Base de données fabricants (ATHIL, UNPF, EUDA)	■ International et France

Les résultats sont présentés en tonne équivalent CO2 (tCO2eq) : l'ensemble des émissions de GES (CO2, CH4, N2O et les gaz industriels) sont converties en une unité unique : le CO2 équivalent permettant ainsi de simplifier l'analyse.

2.1.4 - Traitement des incertitudes

Toute évaluation d'émissions de GES est assortie d'une incertitude irréductible provenant de nombreux facteurs notamment :

- La méthodologie elle-même (périmètre, hypothèses de calcul, degré de précision...);
- Les données d'entrée (données internes, données fournisseurs, données d'entreprise de construction...);
- Les facteurs d'émissions.

Plusieurs méthodes de calcul de l'incertitude existent mais il n'y a pas, à ce jour, de méthode stabilisée et unanime à l'échelle internationale ou nationale. Ainsi, il est pertinent de ne pas calculer cette incertitude mais de considérer deux éléments clés : l'évolution de l'incertitude par rapport au stade du projet et le niveau de leviers d'action. Ces éléments sont présentés dans la figure 1 ci-dessous.

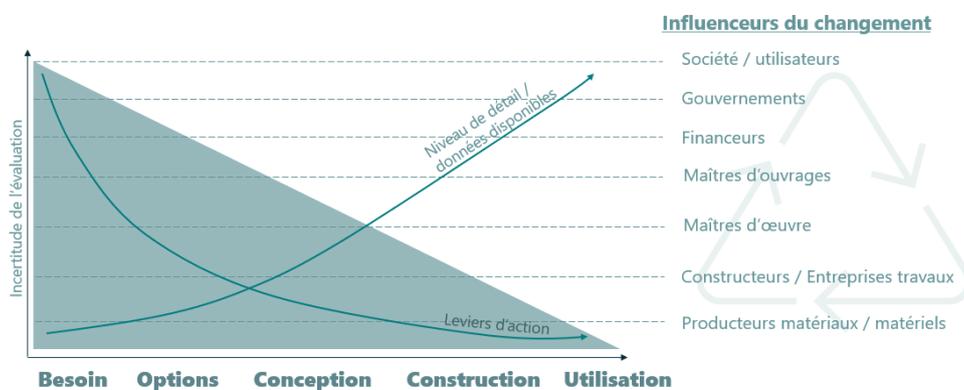


FIGURE 1 : CAPACITÉS D'ACCÉLÉRATION DE LA DÉCARBONISATION AU COURS DES DIFFÉRENTES ÉTAPES D'UN PROJET
(SOURCE : ADAPTE PAR PAS 2080-CARBON MANAGEMENT IN INFRASTRUCTURE)

Dans le cas où le calcul de l'incertitude s'avère nécessaire alors nous utilisons la méthodologie proposée par l'ADEME au travers de la méthodologie Bilan Carbone[®]. Cette approche repose sur le principe de propagation des incertitudes et elle est notamment conforme au rapport publié par le GIEC en 2001 « Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux ». Le calcul ci-dessous est alors appliqué :

L'incertitude totale de notre empreinte carbone est calculée de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{Incertitude}_{\text{poste d'émission}_1} &= U_1 = \sqrt{U_{DA}^2 + U_{FE}^2} \\
 \text{Incertitude}_{\text{TOTALE}} &= \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{x_1 + \dots + x_n}
 \end{aligned}$$

U_{DA} = Le pourcentage d'incertitude associé à la donnée d'activité
 U_{FE} = Le pourcentage d'incertitude associé au facteur d'émission
 U_n = Le pourcentage d'incertitude associé au poste d'émission n
 x_n = Les émissions de GES du poste d'émission n

Dans le cadre de ce projet, l'incertitude a été estimée à 30%.

3 - ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

3.1 - Périmètre de l'évaluation

Afin d'évaluer les impacts potentiels sur le changement climatique générés par le projet, il est indispensable de définir précisément le périmètre de l'évaluation.

Le périmètre global d'évaluation est le suivant :

- phases du projet considérées :
 - phase chantier/construction ;
 - phase d'exploitation : données d'émissions liées au trafic et à l'entretien des chaussées et de quelques éléments paysagers.
- caractéristiques du projet considéré / périmètre géographique :
 - aménagement d'un nouveau franchissement routier sur la commune de Saint-Grégoire (35) suite à la suppression du passage à niveau PN4 ;
 - modification de l'occupation des sols de 0,71 ha (phase projet) ;
 - principaux postes d'aménagements paysagers le long de l'échangeur.

3.2 - Identification des postes émetteurs de GES

À ce stade des études le projet n'est pas encore défini de manière précise. Il a donc été identifié les principaux postes d'émission de GES. Ceux-ci ne se veulent pas exhaustifs mais représentent de manière relativement complète les composantes du projet.

Les principaux postes émissifs identifiés pour la phase chantier / construction sont les suivants :

- la création de voiries provisoires ;
- la libération des emprises / terrassements ;
 - dégagement des emprises ;
 - changement d'affectation du sol (imperméabilisation de milieux à caractère naturel qui ne l'étaient pas) ;
 - imperméabilisation des sols ;
 - déblais/remblais ;
 - adoucissement de berges (travaux de types déblais compris dans les postes associés au terrassement du site) ;
- les modifications de cours d'eau, ouvrages hydrauliques, réseaux d'assainissement et autres réseaux secs ;
 - ouvrages hydrauliques béton ;
 - création et suppression de réseaux d'assainissement en pvc ;
 - rescindement de cours d'eau ;
 - ouvrage de rétention ;
 - tranchées et fourreaux ;
- voiries et équipements affiliés / équipements de l'espace urbain lié à de la voirie ;
 - chaussées ;
 - trottoirs ;
 - signalisation ;
- les espaces urbains ;
 - mobiliers (potelets, dalles podotactiles) ;
 - garde-corps et clôtures ;
 - mats lumineux ;
 - maçonnerie (murs de soutènements, escaliers) ;
- principaux aménagements paysagers ;
 - plantations ;
 - *adoucissement de berges (compté dans les calculs à travers les postes liés aux terrassements.*

3.3 - Hypothèses et Facteurs d'émissions

L'évaluation prend en compte la phase de construction du projet.

Ont été évaluées, les émissions liées :

- à la réalisation des terrassements (extraction, mise en œuvre des matériaux pour l'exécution des déblais, remblais et des couches de forme) ;
- à la construction, l'entretien et la fin de vie des chaussées (extraction, transport et mise en œuvre des matériaux de couches de chaussées) et des équipements de sécurité ;
- au changement d'affectation des sols (imperméabilisation des sols).

Les facteurs d'émissions intègrent :

- la production des matières premières (déblais, granulats, chaux, bitume, ciment, etc.) ;
- le transport des matériaux et des matériels ;
- l'utilisation des engins pour la mise en œuvre.

Ils n'intègrent pas les déplacements de personnels pendant la durée du chantier.

À ce stade du projet, les distances et modes de transports pour l'acheminement des matériaux ne sont pas connues, il a donc été considéré un mode de transport routier avec des distances moyennes pour ce type de chantier.

Les facteurs d'émissions utilisés sont issus de sources publiées (CEREMA, INIES et ADEME) et du retour d'expérience d'EGIS sur des projets similaires. L'utilisation de facteurs d'émission a été réalisée d'après :

- La Base Carbone de l'ADEME ou les guides sectoriels publiés par l'ADEME dès lors que des facteurs étaient disponibles,
- Les sources publiées telles que le CEREMA pour les chaussées, terrassements, ouvrages d'arts, ..., l'INIES pour les bâtiments et leurs équipements ;
- Le retour d'expérience EGIS sur des projets similaires (retours d'expérience sur chantier existants (engins-types, consommations carburants, volume de matériaux par type d'ouvrage, ...).

Les quantités pour chaque poste d'émission sont issues des principaux documents de présentation du projet : DQE, étude d'impact, étude Trafic et étude Air.

3.4 - Phase chantier/construction

Les estimations des émissions de GES par postes émissifs sont présentées dans le Tableau 6. Le détail est disponible dans les annexes.

Ainsi, les émissions globales du projet en phase construction sont de l'ordre de **2 479 t éqCO₂**.

TABLEAU 2 : RESULTATS DE L'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS CARBONE POUR LA PHASE DE CONSTRUCTION

Postes d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Part (%)
Installation de chantier/Ouvrages provisoires/Travaux préparatoires	1 068	43%
Libération des emprises - Terrassement	426	17%
Voirie et équipements/ Éléments de l'espace urbain lié à de la voirie	673	27%
Espaces urbains : mobiliers et maçonnerie	104	4%
Réseaux	205	8%
TOTAL	2 479	100%

Il est rappelé que l'incertitude globale sur ces émissions est de l'ordre de 30 %.

A ce stade des études (PRO), le bilan des émissions de GES prend en compte les principaux postes d'émissions liées à la mise en œuvre de plantations.

La répartition de ces émissions par postes émissifs est représentée dans les graphiques suivants.

PART DES ÉMISSIONS DE GES (%)

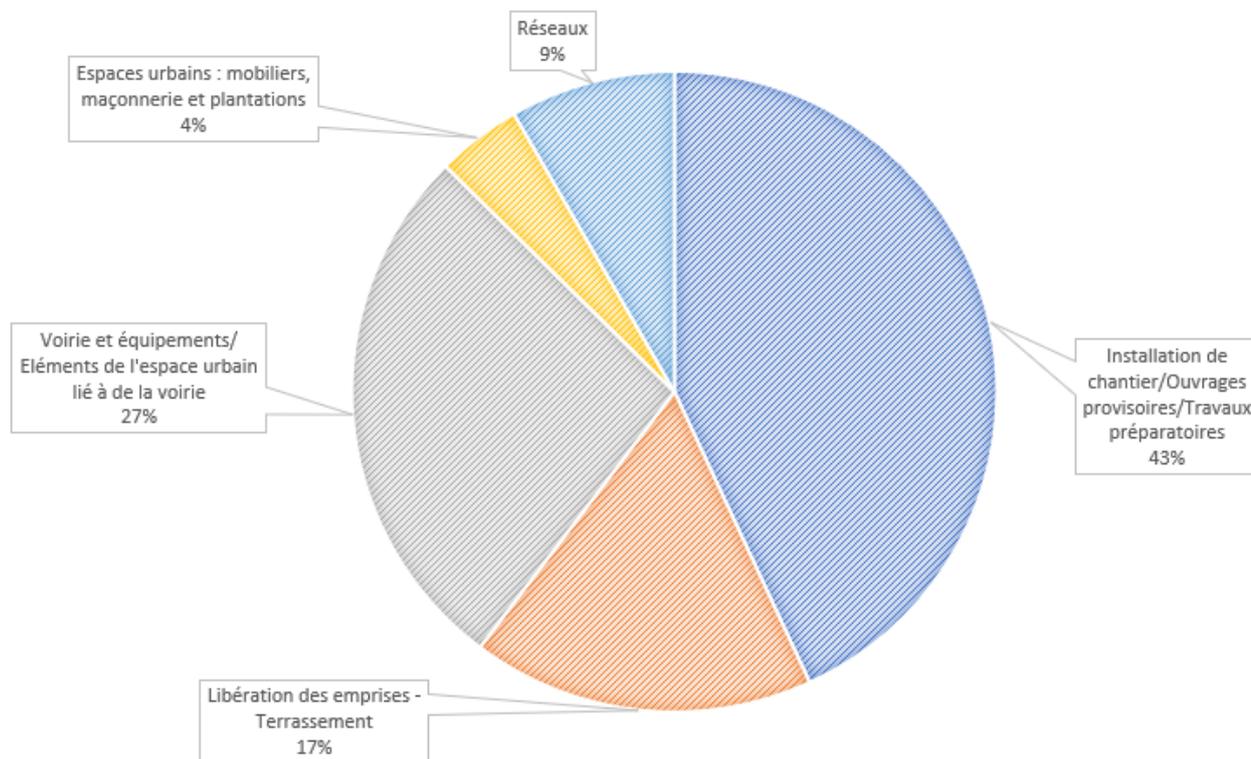


FIGURE 2 : ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN PHASE CONSTRUCTION (EN %)

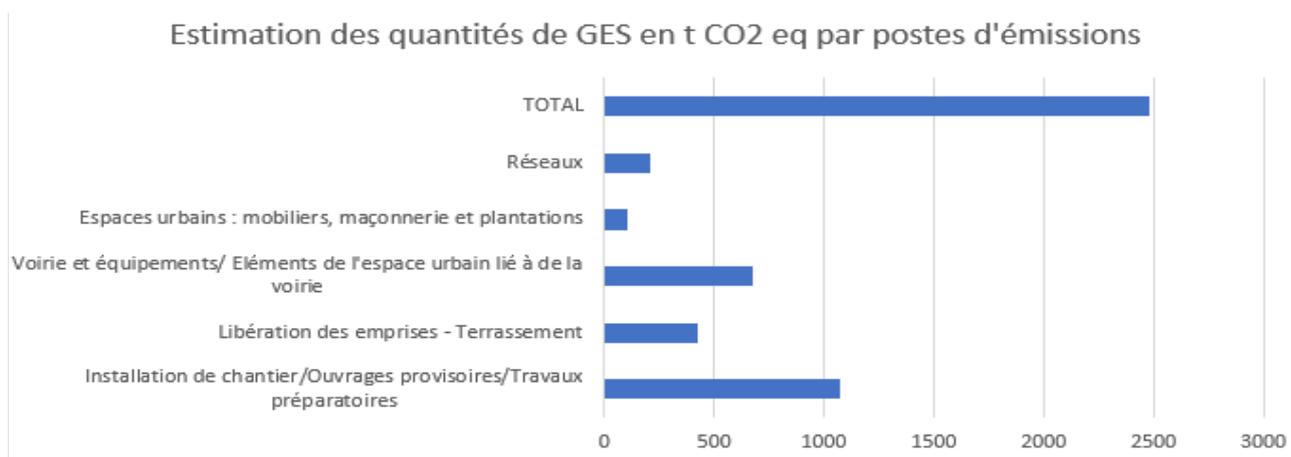


FIGURE 3 : RÉSULTATS PHASE CONSTRUCTION – RÉPARTITION PAR POSTES ÉMISSIFS (EN T ÉQCO₂)

Le principal poste émissif est lié aux travaux préparatoires (43% des émissions pour environ 1000 teqCO₂). Suivent les travaux de voiries (27%) et les libérations d'emprises/terrassements (17%).

Les mobiliers et maçonnerie de l'espace urbains (4%) et les travaux d'installations de réseaux (8%) sont les postes les moins émissifs du projet.

3.5 - Phase d'exploitation : indications d'ordre de grandeur

En accord avec la méthodologie de l'étude Air Santé, le réseau routier étudié est déterminé par le projet d'infrastructure et par le réseau routier subissant, du fait de la réalisation du projet, une variation (augmentation ou diminution) de trafic, supérieure à 10% pour les tronçons dont le trafic est supérieur à 5 000 véh/jour à l'horizon de mise en service.

3.5.1 - Trafic routier

A travers l'étude Air et Santé menée pour ce projet de suppression du passage à niveau, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) provenant du trafic routier ont été calculées à travers la méthodologie Copert 5. Il est rappelé que cette méthode de calcul ne permet pas de prendre en compte l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre, mais uniquement le dioxyde de carbone.

Ces émissions concernent :

- La situation initiale (dite « état de référence », datant de 2016) notée EI ;
- L'état dit « fil de l'eau » en 2025, noté FE, c'est-à-dire l'évolution de la situation depuis l'état de référence sans projet ;
- L'état projeté en 2025, noté EP.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

TABLEAU 3 : RÉSULTATS DES ESTIMATIONS DE DIOXYDE DE CARBONE DE LA MODELISATION DE L'ÉTUDE AIR SANTÉ

<i>en t / an</i>	Etat initial (2016)	Fil d'eau (2025)	Etat projeté (2025)
Liberté Nord	144,2	147,8	377,0
Liberté Sud	348,2	385,4	385,4
Thorigné	47,8	67,9	24,5
TOTAL	540,2	601,2	786,6

Le projet, annuellement, pourrait être responsable de plus de 180 tonnes de dioxyde de carbone par rapport à l'absence de projet.

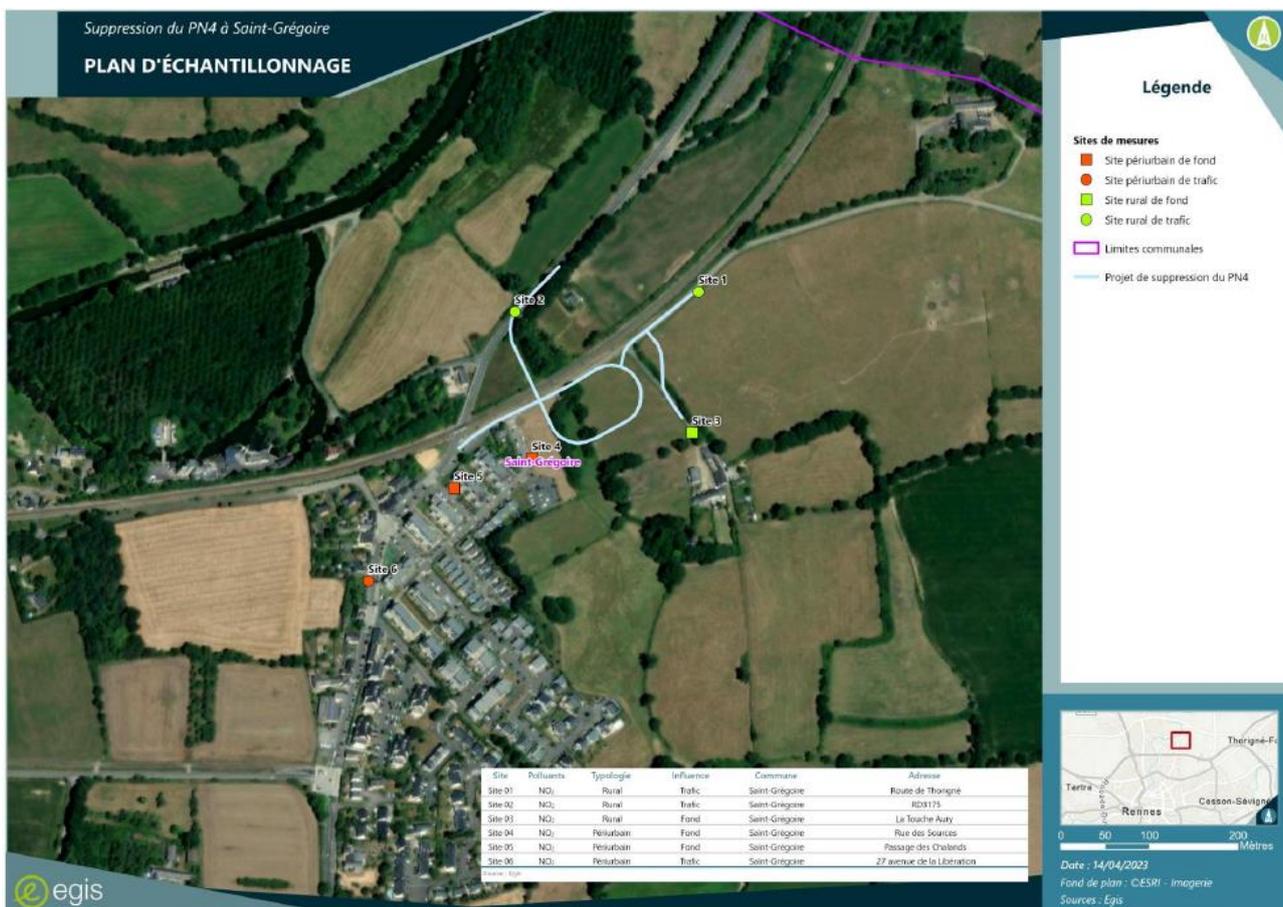


FIGURE 4 : PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE DES MESURES CONCERNANT LA QUALITÉ DE L'AIR

Les sites de Liberté Nord, Liberté Sud et Thorigné sont au niveau des points de mesure ruraux.

Ces résultats témoignent d'une augmentation des émissions de dioxyde de carbone entre l'**État initial** et la situation au **Fil de l'eau** de +11 %. Cette augmentation est liée à l'augmentation du kilométrage parcouru (+14 %).

Les émissions de dioxyde de carbone augmentent de +31 % entre les situations au **Fil de l'eau** et l'**État projeté**. Cette augmentation est cohérente avec l'augmentation du kilométrage parcouru (+37 %).

3.5.2 - Consommations énergétiques liées au trafic

D'après l'étude Air et Santé, les consommations énergétiques augmentent de +31% entre les situations au Fil de l'eau (sans projet) et l'état projeté. Cette augmentation est en cohérence avec l'augmentation du kilométrage parcouru.

3.5.3 - Entretien et maintenance de l'infrastructure

Les chiffres suivants sont donnés à titre d'indication. Annuellement, les activités d'entretiens, qui rentreront dans une logique scalaire plus étendue qu'au simple échangeur, sont estimées à 16 t CO₂ équivalents.

TABEAU 4 : RÉSULTAT DE L'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE GES POUR L'ENTRETIEN ET LA MAINTENANCE DU PROJET (PHASE D'EXPLOITATION)

Postes d'émissions	Quantités du poste estimées pour le projet	Facteur d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Source Facteur d'émission
Activités routières			14	
Exploitation annuelle d'un réseau routier	3 km	2,97	9	CEREMA
Entretien annuel des chaussées	3 km	1,8	5	CEREMA
Aménagements paysagers			2	
Entretien annuel des espaces verts	16859 m ²	0,00011	2	ADEME

Les données concernant l'entretien des espaces verts se réfèrent à des aménagements en milieu urbain et sont potentiellement surestimées par rapport aux modalités d'entretiens d'aménagements paysagers de bords de voies routières en espace rural.

Sous réserve que ces données n'évoluent pas, sur 20 ans le bilan GES lié à ces activités est donc de 320 tonnes CO₂ équivalents.

Il est recommandé de mutualiser les opérations d'entretiens et de maintenance afin de limiter les déplacements d'engins et ainsi de limiter le bilan GES.

Lors des opérations d'entretiens de chaussées, il est avisé d'utiliser des matériaux provenant du recyclage ou biosourcés. Certaines actions d'entretiens peuvent contribuer à limiter les émissions de GES, comme le retraitement en place.

3.6 - Indications d'émissions de GES et de stockage carbone par la végétation et trame bleue liée au projet

Estimer le bilan des émissions de gaz à effet de serre lié à la végétation est une tâche complexe en raison de la complexité des mécanismes de piégeages de carbone (séquestration carbone) de la végétation, et plus globalement de la biomasse (éléments racinaires et aériens de la végétation, biomasse du sol, ...). Celle-ci est dépendante de nombreux facteurs d'ordres météorologiques, climatiques mais également pédologiques à différentes échelles écologiques. Actuellement, il n'existe pas de méthodes de calculs reconnues, mises en pratiques et bénéficiant d'un retour d'expérience permettant d'estimer la séquestration de carbone de la végétation horticole, liée aux travaux de génie végétal ou aux processus de reforestation de jeunes boisements.

Cependant, nous pouvons donner des indications pour certains éléments paysagers du projet à travers la Méthode Haies, applicable à la région où se situe le projet (Bretagne).

La méthode Haies indique les données suivantes (issues du projet carbocage, précédent de l'établissement de la méthode Haies) :

Tableau IX - Stockage du carbone par la biomasse (racinaire et aérienne) d'une haie bocagère gérée durablement selon son type dans le Grand-Ouest (en $\text{teqCO}_2/\text{km}/\text{an}$). La biomasse aérienne est divisée en biomasse restant sur place et biomasse exploitée pour du bois énergie. Source : Projet Carbocage

En $\text{teqCO}_2/\text{km}/\text{an}$	Haie pluristrate (Hpl)	Haie taillis (Ht)	Haie futaie (Hf)	Haie arbustive (Hb)
Biomasse totale (C_{tot_p})	5,90	8,90	9,98	1,80
Biomasse racinaire (C_{rac_p})	1,8	3,2	2,7	0,4
Biomasse aérienne restant sur place (C_{nexp_p})	1,89	0	4,85	1,4
Biomasse aérienne exploitée (C_{exp_p}) <i>en option si exploitation</i>	4,41	11,40	4,85	0,00

FIGURE 5 : EXTRAIT DE LA MÉTHODE HAIES

Le projet est à l'origine de quelques linéaires (détails de données quantitatives non connues) de haies de type arbustive, en taillis et en futaie. L'existence de ces éléments implique un phénomène de séquestration carbone.

Bien que plusieurs études récentes s'appliquent à estimer les stocks de carbones provenant de sols forestiers pour des peuplements de feuillus ou de résineux, il n'existe pas de valeurs par défaut pouvant être exploitée par essence forestière et à fortiori à des espèces plantées d'origine horticole, sylvicole composants de jeunes boisements.

Ainsi, bien que les essences plantées dans le cadre des aménagements paysagers puissent être à l'origine de séquestration carbone, il n'est pas possible d'indiquer des valeurs quantitatives fiables. De même, nous ne pouvons décrire les émissions de GES provenant de la mise en œuvre des aménagements paysagers et de l'entretien de ces espaces (de fréquence non connue à ce jour) par rapport aux quantités de carbone séquestrées par la végétation mise en place.

4 - BILAN ET MESURES ERC

4.1 - Bilan

Le projet est à l'origine d'émissions de GES, que l'on estime aux ordres de grandeurs suivants :

- Phase de construction : 2 478 t CO₂ équivalents
- Phase d'exploitation :
 - 787 t de dioxyde de carbone annuels provenant du trafic routier, soit près de 186 t de plus qu'une situation en l'absence de projets.
 - 16 t chaque année en CO₂ équivalents pour les activités d'entretiens de la voiries et des aménagements paysagers et d'activités routières.

Par ailleurs, les aménagements paysagers, seront à l'origine de séquestration carbone par la biomasse (végétation plantée, sols en place).

Le tableau ci-dessous présente *des tendances* d'ordre de grandeurs d'émissions GES pour le scénario avec et le scénario sans projet.

TABLEAU 5 : TENDANCES DES ORDRES DE GRANDEURS D'ÉMISSIONS EN GES AVEC ET SANS PROJET

	Scénario sans projet (t CO ₂ éq)	Scénario avec projet (t CO ₂ éq)
Phase de construction	Non applicable	2 479
Phase d'exploitation (émissions trafic routier + entretien des chaussées)	≈ 605 (601,2+ ≈4,5)	≈801 (786,6+14)

Les tendances indiquent qu'en 2025, le projet ferait augmenter à l'échelle de l'année l'empreinte carbone d'environ 33% en phase d'exploitation.

4.2 - Pistes pour la mise en place de mesures ERC

Dans le cadre d'une étude d'impact tout projet doit comporter des éléments sur les mesures prévues par le maître d'ouvrage pour :

- Éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine ;
- Réduire les effets n'ayant pu être évités ;
- Compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu ni être évités ni suffisamment réduits.

Cette séquence éviter-réduire-compenser (ERC) permet de concevoir des projets de moindre impact environnemental. L'implication active des parties prenantes locales et la sensibilisation aux mesures de réduction des émissions carbone dans le processus de mise en œuvre du projet permet une meilleure compréhension des enjeux environnementaux.

Afin de réduire les impacts du projet en termes d'émissions de gaz à effet de serre, il est recommandé de veiller à optimiser le cycle de vie des matériaux inhérents aux projets, en flux entrant et sortant. Ainsi il est suggéré :

- La rationalisation des ressources et surfaces disponibles sur le chantier ainsi que la limitation de l'emprise des sols naturels ;
- Compenser le changement d'affectation des sols par du reboisement et de la végétalisation ;
- La réutilisation des matériaux :
 - Réutiliser des déblais en remblais sur chantier ou sur un chantier proche ;
 - Utiliser des matériaux recyclés lorsque cela est possible, par exemple pour les petits équipements urbains ;
 - Plus globalement, la valorisation et la réduction des déchets (chantiers connexes, industrie, centre de recyclage) ;
- L'emploi de matériaux bas carbone et/ou avec une incorporation de biosourcé et/ou recyclés pour les structures compatibles (béton bas carbone etc.).
 - Exemples : si cela est possible, utiliser un ciment à faible teneur en carbone et des liants biosourcés ;
- Garder une exigence sur l'origine des matériau (critère de distance et type de transport) ;
- Encourager l'utilisation d'engins électriques pour les travaux.

Plus globalement, les préconisations inhérentes aux notices de responsabilité environnementale sur chantier permettent de contribuer à un impact carbone réduit (Couper les moteurs des véhicules lorsque non utilisés, organiser les surfaces de chantier selon leurs fonctionnalités, économiser la ressource en eau).

Par rapport à l'urbanisme et l'aménagement, la stratégie est de contenir l'artificialisation des sols et de dynamiser les structures urbaines existantes. En particulier, il est question d'optimiser l'emprise au sol des infrastructures de transport et de cesser le mitage et la dégradation des espaces agricoles, naturels et forestiers, limiter voir mettre un terme à l'assèchement des milieux humides. Il est aussi question de limiter l'excavation et l'imperméabilisation des sols pour les besoins d'urbanisation et promouvoir la préservation de la pleine terre.

Les mesures ci-dessus proposées peuvent contribuer à soutenir la stratégie. Au vu des résultats du BEGES en phase de construction, toute mesure liée au principe de *Lean Construction*¹ et au changement d'occupation du sol et à l'installation du chantier (économie des surfaces occupées, précautions afin de ne pas dégrader les milieux) iront vers une réduction des impacts.

Par rapport au secteur des transports et le développement de technologie bas-carbone au sein de ce secteur, La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) vise la réduction de 30% de la consommation de combustibles fossiles, l'installations de points de charge pour véhicules électriques (7millions de points de charge sur le territoire d'ici 2030), des quotas de véhicules à faibles émissions dans les flottes et 10% d'énergie finale consommée de sources renouvelables.

Cependant, la nature du projet ne permet pas de marge de manœuvre particulière pouvant contribuer à cette thématique

¹ Pour un projet de construction, désigne les principes de création de valeur par l'élimination des gaspillages dont la consommation inutile de surfaces s'inscrivant dans le cadre d'une démarche systématique d'amélioration continue.

5 - ANNEXES

TABLEAU 6 : ÉMISSIONS DE GES EN PHASE CONSTRUCTION – INSTALLATION DE CHANTIER, OUVRAGES PROVISOIRES, TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Postes d'émissions	Quantités du poste estimées pour le projet	Facteur d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Source Facteur d'émission
Installation de chantier/Ouvrages provisoires/Travaux préparatoires			1068	
Travaux préparatoires d'infrastructures dont libération des emprises			508	
Déconstruction de voirie	1144,80 m ³	0,0077	9	CEREMA
Changement d'occupation du sol (défrichage/déboisement)	0,35 ha	290	100	ADEME
Création de voirie provisoire	2415 m ²	0,165	398	EGIS
Travaux préparatoire - mesures environnementales			561	
Création de fossé provisoire pour continuité d'écoulement	199 ml	0,0972	19	SNCF Réseau
Création du dévoiement provisoire des cours d'eaux et des rejets EP "Maison Blanche"	1607 m ²	0,0972	156	SNCF Réseau
Création d'une continuité piétonne provisoire (y compris deux passerelles au droit des cours d'eau)	273 m ²	0,165	45	EGIS
Réalisation du modelage soigné des zones humides (y compris reméandrage du cours d'eau)	10 500 m ²	0,0324	340	SNCF Réseau

TABLEAU 7 : ÉMISSIONS DE GES EN PHASE CONSTRUCTION – LIBÉRATION DES EMPRISES ET TERRASSEMENTS

Postes d'émissions	Quantités du poste estimées pour le projet	Facteur d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Source Facteur d'émission
Libération des emprises -Terrassement			426	
Changement d'occupation du sol			102	
Changement d'affectation des sols (prairies vers imperméabilisé), destruction d'une zone humide	0,347 ha	290	100	ADEME
Rescindement de cours d'eau	119 m	0,165	2	EGIS
Terrassements			324	
<i>Déblais</i>				
○ Excavation des déblais	22 374 m ³	0,0006	13	EGIS
○ Transports des déblais (m ³) hors site (hyp. 30km)	37 5968 m ³ .km	0,00018	68	ADEME_Base_Carbone
○ Traitement des déblais en décharge	12 734 m ³	0,0182	232	ADEME_Base_Carbone
<i>Remblais</i>				
Mise en œuvre des remblais issus du site (sans traitement)	12849 m ³	0,0006	8	EGIS
Remblais courant d'apport (sans traitement)	788 m ³	0,00379	3	CEREMA

TABLEAU 8 : ÉMISSIONS DE GES EN PHASE CONSTRUCTION – VOIRIES ET ÉQUIPEMENTS ASSOCIÉS

Postes d'émissions	Quantités du poste estimées pour le projet	Facteur d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Source Facteur d'émission
Voiries et équipements urbains associés			673	
Structures et revêtements			448	
Enduits superficiels	21 872,6 m ²	0,0008	17	CEREMA
Mélanges bitumineux en couches d'assises ou de roulement (ex BBSG, BBME, BBTM, EME, GB ...)	1 866,3405 m ³	0,08364	156	CEREMA
Couches d'assise de type MTLH (graves traitées aux liants hydrauliques)	241,5 m ³	0,087	21	CEREMA
GNT de type B (pour structures de chaussées)	6 228,3375 m ³	0,0243	151	CEREMA
Géotextile en polypropylène	10 841,05 m ²	0,0014	15	CEREMA
Joint de chaussée revêtement amélioré	10,5u	0,00008	0	CEREMA
Revêtements sols > Dalles béton	924 m ²	0,0331	31	INIES
Revêtement de sol > sable stabilisé avec liant	5 29,2 m ²	0,1065	56	INIES
Bordures et glissières			223	
Bordure trottoir - pierre naturelle	2 187,15 m	0,0494	108	CEREMA
Bordure trottoir - béton	1 143,35 m	0,0858	98	CEREMA
Glissières béton GBA	145,95 m	0,115	17	CEREMA
Signalisation			2	
Signalisation routière (panneaux)	3 km	0,6	2	EGIS
Signalisation routière (peinture)	3 km	0,01	0,03	EGIS

TABLEAU 9 : ÉMISSIONS DE GES EN PHASE CONSTRUCTION – ESPACES URBAINS : MOBILIERS, MAÇONNERIES, PLANTATIONS

Postes d'émissions	Quantités du poste estimées pour le projet	Facteur d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Source Facteur d'émission
Espaces urbains et plantations			107	
Mobilier			14	
Potelets	47 u	0,0008	0,0376	EGIS
Bandes pododactiles béton	29 m	0,000213	0,006177	INIES
garde-corps (Rampe PMR)	96 m	0,131	12,576	INIES
clôture type treillis soudé (périphérie du poste de refoulement)	27 m	0,0437	1,1799	INIES
mains courante simples et doubles	12 m	0,0131	0,1572	INIES
Maçonnerie			91	
Création de mur de soutènement en béton préfabriqué	83 m ²	0,545	45	EGIS
Emmarchements en béton	60 m	0,747	45	ADEME_Base_Carbone
Mur en gabion	350 m ³	0,00284	1	INIES
Plantations			2	
Plantations (mise en œuvre)	16859 m ²	0,00011	2	ADEME

TABLEAU 10 : ÉMISSIONS DE GES EN PHASE CONSTRUCTION - RÉSEAUX

Postes d'émissions	Quantités du poste estimées pour le projet	Facteur d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Source Facteur d'émission
Réseaux			205	
Assainissement			141	
Eaux usées			5	
Dépose d'un ouvrage d'assainissement d'eaux usées existant	8 u	0,0807	0,6	EGIS
Regard de visite béton Ø1000mm avec tampon fonte D400	6 u	0,228	1,4	INIES
Canalisation Ø200 PVC SN16	75 m	0,04	3	INIES
Eaux pluviales			125	
Dépose d'un ouvrage d'assainissement d'eaux pluviales existant	20 u			
Dépose de canalisation EP existante	458,85 m	0,0807	37	EGIS
Canalisations				
Canalisation Ø200 PVC SN16	21 m	0,04	0,8	INIES
Canalisation Ø250 PVC SN16	170,1 m	0,04	6,8	INIES
Canalisation Ø315 PVC SN16	30,45 m	0,04	1,2	INIES
Canalisation Ø400 PVC SN16 ou Béton 135A	122,325 m	0,04	4,9	INIES
Canalisation Ø500 PVC SN16 ou Béton 135A	205,8 m	0,04	8,2	INIES
Canalisation Ø600 PVC SN16 ou Béton 135A	26,25 m	0,04	1,1	INIES
Canalisation Ø800 Béton 135A	6,3 m	0,18893	1,2	EGIS
Canalisation Ø1000 Béton 135A	82,95 m	0,18893	15,7	EGIS
Canalisation Ø1200 Béton 135A	7,35 m	0,18893	1,4	EGIS
Dalots	36 u	0,49068	17,7	EGIS
Regard de visite béton 1500 x 1500 avec tampon fonte D400	7 u	0,228	1,6	INIES
Regard de visite béton Ø1000mm avec tampon ou grille fonte D400	25 u	0,228	5,7	INIES
Regard avaloir avec plaque de recouvrement fonte ou élément avaloir granit	13 u	0,344	4,5	INIES
Regard à grille 600x600	4,24 u	0,1872	0,8	EGIS
Regard à grille 350x700	2,12 u	0,1872	0,4	EGIS
Caniveau à grille fonte DN150 mm pour accès riverain	11 u	0,228	2,5	EGIS
Tête d'aqueduc				
Pour canalisation DN ≤ 500 mm	16 u	0,40674	6,5	EGIS
Pour canalisation DN > 500mm avec grille anti-intrusion	2 u	0,814024	1,6	EGIS

Postes d'émissions	Quantités du poste estimées pour le projet	Facteur d'émissions	Émissions GES (en t CO ₂ éq)	Source Facteur d'émission
Bassin de rétention et de traitement EP (hors terrassement)	1 u	2,31147	2,3	EGIS
Protection mécanique sur canalisation projetée	29 m	0,0151	0,4	INIES
Création de fossé et de noue	515 m	0,00324	1,7	SNCF Réseau
Reprofilage de fossé et de noue	336 m	0,00324	1,1	SNCF Réseau
Autres éléments de réseaux humides			10,8	
Canalisation PEHD Ø90/110	249 m	2,31147	2,3	INIES
Canalisation PEHD Ø40,8/50	143 m	0,0151	0,4	INIES
Vanne DN100	3 u	0,00324	1,7	SNCF Réseau
Vanne DN40	1 u	0,00324	1,1	SNCF Réseau
Réseaux secs			47,5	
Fourreaux TPC90	1 221,12 m	0,000399	0,5	INIES
Fourreaux TPC110 en traversée de chaussée	76,32 m	0,000399	0,0	INIES
Fourreau de réserve TPC160	63,6 m	0,000399	0,0	INIES
Fourreau Ø 42/45 PVC	1 499,9 m	0,000399	0,6	INIES
Réseau basse tension	1405 m	0,00852	12,0	INIES
Luminaires pour éclairage fonctionnel (mât inclus) -	42 u	0,762	32,0	INIES
Chambre de tirage L1T	15 u	0,074	1,1	STRADAL/CER IB
Chambre de tirage L2T	10 u	0,129	1,3	STRADAL/CER IB
Autres éléments liés aux réseaux			12,3	
Protection des réseaux de gaz	53 m	0,18893	10	INIES
Fourniture et pose de fourreaux (en réserves)	40 m	0,0583	2,3	INIES
Génie civil lié aux réseaux			4,6	
Déblais :				
○ Excavation des déblais				
Ouverture et remblaiement de tranchée sous trottoir ou accotement	1 293,2 m ³	0,0006	0,8	EGIS
Ouverture et remblaiement de tranchée sous chaussée	222,6	0,0006	0,1	EGIS
Mise en œuvre des remblais issus du site (sans traitement)	646,6 m ³	0,0006	0,4	EGIS
Mise en œuvre des remblais issus du site (sans traitement)	111,3 m ³	0,0006	0,1	EGIS
Réfection de tranchée provisoire de chaussée en enrobé	116,6 m ²	0,0278	3,2	INIES