

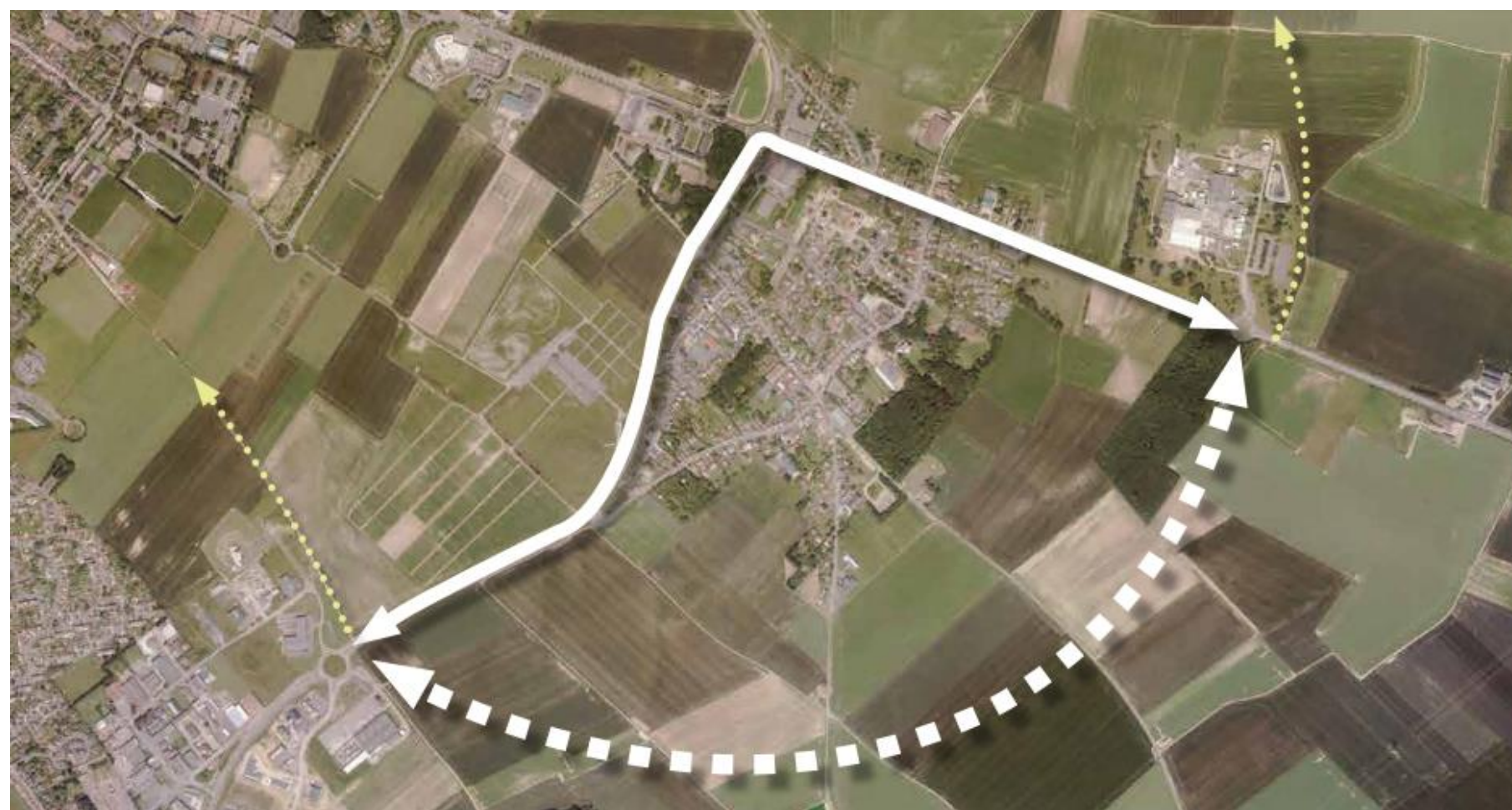
DIRECTION DE LA MOBILITE ET DU RESEAU ROUTIER
SERVICE MOBILITE ET MAITRISE D'OUVRAGE

Volume 3
ETUDE D'IMPACT

Chapitre 9

**Estimation des gaz à
effet de serre émis
par le projet**

Décembre 2023



REVISION DU DOCUMENT

| INDICE | DATE | PARTIE | MODIFICATIONS | ETABLI PAR | VERIFIE PAR | APPROBATION |
|--------|---------------|--|--|-------------|-----------------------|-----------------|
| A | Avril 2022 | Estimation des gaz à effet de serre émis par le projet | Création du document | Axelle OTNU | Aurélie PINTE | Florence BORDAS |
| B | Juin 2022 | Estimation des gaz à effet de serre émis par le projet | Intégration des remarques du MOA | Axelle OTNU | Aurélie PINTE | Florence BORDAS |
| C | Octobre 2022 | Estimation des gaz à effet de serre émis par le projet | Modification suite résultats nouvelle étude de trafic à intégrer | Axelle OTNU | Aurélie PINTE | Florence BORDAS |
| D | Octobre 2023 | Estimation des gaz à effet de serre émis par le projet | Modification suite nouvelle étude de trafic + intégration des remarques du MOA et des Services de l'Etat | Axelle OTNU | Aurélie PINTE | Florence BORDAS |
| E | Décembre 2023 | Estimation des gaz à effet de serre émis par le projet | Intégration des remarques du MOA | Axelle OTNU | Cathy NIVELLE-DUFOSSE | Florence BORDAS |

SOMMAIRE

| | | | |
|--|-----------|---|-----------|
| 1 INTRODUCTION..... | 6 | 6.5 Ouvrages d'art | 19 |
| 2 CONTEXTE..... | 6 | 6.5.1 Méthodologie | 19 |
| 3 DOCUMENTS DE REFERENCE | 6 | 6.5.2 Données d'entrées | 19 |
| 4 PRESENTATION DU PROJET | 6 | 6.5.3 Résultats..... | 19 |
| 4.1 Description du projet | 6 | 6.6 Entretien de la chaussée | 19 |
| 4.1 Contexte géographique - occupation du sol..... | 9 | 6.6.1 Méthodologie | 19 |
| 5 METHODOLOGIE GLOBALE | 10 | 6.6.2 Données d'entrées | 20 |
| 5.1 Principe de calcul..... | 10 | 6.6.3 Résultats..... | 20 |
| 5.2 Les facteurs d'émissions | 10 | 6.7 Equipements de sécurité..... | 21 |
| 5.1 Les émissions véhiculaires | 10 | 6.7.1 Méthodologie | 21 |
| 5.2 Périmètre de l'évaluation | 10 | 6.7.2 Données d'entrée | 21 |
| 5.2.1 Périmètre temporel | 10 | 6.7.3 Résultats..... | 21 |
| 5.2.2 Périmètre spatial | 10 | 6.8 Exploitation du réseau | 21 |
| 5.3 Incertitudes des données | 11 | 6.8.1 Méthodologie | 21 |
| 6 ESTIMATION DES VARIATIONS DES GES | 11 | 6.8.2 Données d'entrée | 21 |
| 6.1 Trafic généré par le projet..... | 11 | 6.8.3 Résultats..... | 22 |
| 6.1.1 Méthodologie | 11 | 6.9 Synthèse globale | 22 |
| Camion remorque - grand volume, PTR 40T | 12 | 6.10 Mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre | 22 |
| 6.1.1 Données d'entrée | 12 | 6.10.1 Matériaux à contenu carbone réduit | 23 |
| 6.1.2 Résultats | 14 | 6.10.2 Revalorisation sur site | 23 |
| 6.2 Changement d'affectation des sols – Artificialisation..... | 14 | 7 CONCLUSION..... | 23 |
| 6.2.1 Méthodologie | 14 | | |
| 6.2.1 Données d'entrée | 15 | | |
| 6.2.2 Résultats | 16 | | |
| 6.3 Terrassements | 16 | | |
| 6.3.1 Méthodologie | 16 | | |
| 6.3.1 Données d'entrée | 17 | | |
| 6.3.2 Résultats | 18 | | |
| 6.4 Construction des chaussées..... | 18 | | |
| 6.4.1 Méthodologie | 18 | | |
| 6.4.2 Données d'entrée | 19 | | |
| 6.4.3 Résultats | 19 | | |

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du contournement routier.....7

Figure 2 : Profil en travers de l'emprise routière.....8

Figure 3 : Profils en travers des ponts cadres (ouvrages d'art)8

Figure 4 : Vue en plan des giratoires du projet8

Figure 5 : Occupation du sol au droit du projet.....9

Figure 6 : Principe de calcul des émissions GES d'un projet d'infrastructure..... 10

Figure 7 : Représentation des émissions indirectes et directes produites par l'utilisation des véhicules 10

Figure 8 : Plan de localisation du projet routier.....11

Figure 9 : Schéma de la méthode de calcul des émissions des véhicules 11

Figure 10 : Localisation des points de trafics considérés.....13

Figure 11 : Evolution des stocks de carbone à la suite d'un changement d'affectation des sols...14

Figure 12 : Profil en travers de l'emprise routière..... 15

Figure 13 : Profil en long du contournement17

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Facteur d'émission associés au trafic des véhicules – 12

Tableau 1 : Facteurs d'émission associés au trafic des véhicules utilisés pour les calculs..... 12

Tableau 2 : Données d'entrée pour le trafic – au fil de l'eau..... 13

Tableau 3 : Données d'entrée pour le trafic – situation avec projet..... 13

Tableau 4 : Evolution des émissions de GES - scénario sans projet - sur 30 ans causées par le trafic routier 14

Tableau 5 : FE de niveau 2, changement d'affectation des sols..... 15

Tableau 6 : Changement d'affectation du sol après la réalisation du projet..... 15

Tableau 7 : Emissions de GES causées par le changement d'affectation du sol engendré par le projet 16

Tableau 8 : Distance de transport de matériaux prise en compte dans l'élaboration du facteur d'émission 16

Tableau 9 : FE associé aux terrassements 17

Tableau 10 : Volume de déblais/remblai.....17

Tableau 11 : Taux de traitement moyens des matériaux 18

Tableau 12 : Emissions de GES causées la phase de terrassement..... 18

Tableau 13 : Catégorie de voie en fonction du trafic 18

Tableau 14 : FE en fonction de la catégorie de voie..... 18

Tableau 15 : Emissions de GES causées par la construction de la chaussée 19

Tableau 16 : facteurs d'émissions pour les ouvrages d'art..... 19

Tableau 17 : Emissions de GES engendrées par la mise en place des deux ouvrages d'art..... 19

Tableau 18 : Distances d'entretien prises en compte pour l'élaboration des facteurs d'émission .20

Tableau 19 : Emissions de GES engendrées par l'entretien de la chaussée sur une période de 30 ans(enrobé)20

Tableau 20 : FE pour les équipements de sécurité21

Tableau 21 : Emissions de GES engendrées par l'exploitation du réseau21

Tableau 22 : Facteurs d'émissions pris en compte pour l'entretien (Source : Cerema, mai 2020) ..21

Tableau 23 : Emissions de GES causées par l'exploitation du réseau sur une année 22

Tableau 24 : Synthèses des émissions totales de GES générées par le projet..... 22

LISTE DES ACRONYMES

- ADEME** : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
- CEREMA** : Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
- COP** : Conférence des Parties
- DCE** : Dossier de Consultation des Entreprises
- FE** : Facteur d'Emission
- GES** : Gaz à effet de Serre
- ISDI** : Installations de Stockage de Déchets Inertes
- PL** : Poids Lourd
- VL** : Véhicule Léger

GLOSSAIRE

- Accotement** : Bordure de la route, entre la chaussée et le fossé.
- Bande de Dérasée** : La bande dérasée est une partie de l'accotement située directement au contact des voies de circulation, et qui a été stabilisée afin de recevoir potentiellement un véhicule.
- Profil en long** : Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, voie ferrée, canalisation, etc.).
- Profil en travers** : Le profil en travers est défini comme étant la coupe suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe du projet. La détermination du profil en travers constitue à définir la largeur de la chaussée et ses annexes, On distingue deux types de profils en travers : le profil en travers en déblai et le profil en travers en remblai.
- Remblais** : Action de rapporter de la terre pour combler ou surélever le niveau du sol.
- Déblais** : Terre, matière enlevée pour niveler le sol
- Occupation du sol** : la couverture (bio-)physique de la surface des terres émergées » et donc le type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'Homme.

Facteurs d'émissions : Ils indiquent la quantité de CO2 émise lors de la combustion d'un combustible donné et pour une unité d'énergie (ici en tep).

Gaz à effet de serre : Ce sont des composés ayant un forçage radiatif important (comme le dioxyde de carbone ou encore le méthane). Le forçage radiatif d'une molécule correspond à sa capacité à absorber le rayonnement solaire dans l'infrarouge.

Parc automobile ou parc roulant : Le parc automobile donne la distribution par type de voie (urbain, route et autoroute) des différentes catégories de véhicules (VP, VUL, PL), par motorisation (essence ou diesel) et par norme (Euro).

Artificialisation : L'artificialisation du sol ou d'un milieu, d'un habitat naturel ou semi-naturel est la perte de ses qualités : sa naturalité, qualité qui inclut une capacité autoentretenu à abriter une certaine biodiversité, des cycles naturels (cycles du carbone, de l'azote, de l'eau, de l'oxygène...) et ses qualités biogéochimiques (puits de carbone par exemple).

Terrassement : Ensemble des travaux de nivelage, de fouille, de déblaiement, etc. effectués sur un terrain.

Ouvrage d'art : il s'agit d'une construction, une infrastructure, dans le domaine des transports de grande taille et de grande importance. Sous ce nom on regroupe les ponts, viaducs, tunnels, écluses... qu'ils s'adressent aux transport routier, ferroviaire ou à d'autres modes de transport.

1 INTRODUCTION

L'augmentation de la concentration des gaz-à-effet de serre (GES) due aux activités humaines est une des principales causes du changement climatique observé durant les deux derniers siècles. Selon le GIEC, l'industrie et le transport sont le deuxième et le troisième secteur d'activité les plus émetteurs de GES, comptabilisant respectivement 19,5% et 19% des émissions globales de GES.

Face au défi environnemental, les différents pays ont pris des engagements pour lutter contre le changement climatique. Cette volonté passe par des mesures visant la réduction des émissions GES dans les différents secteurs économiques. Ainsi, l'Accord de Paris signé après la COP 21 (2015), regroupe les engagements des pays pour réduire les émissions GES anthropogéniques afin de maintenir à 1,5 °C l'augmentation de la température globale par rapport aux niveaux d'avant la révolution industrielle.

Concernant la France, elle a fixé des objectifs plus ambitieux pour la réduction des GES. Approuvée en 2015, la loi de transition énergétique pour la croissance verte établit des objectifs de réduction de GES de 40% pour 2030 qui seront poursuivies pour atteindre 75% à l'horizon 2050 (« facteur 4 »). De plus, elle préconise aussi une diminution de 30% de la consommation des énergies fossiles tout en augmentant la part des énergies renouvelables jusqu'à 32% par rapport aux niveaux de 2012.

De plus, l'adoption de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) permet d'orienter les actions d'atténuation du changement climatique. Concernant le secteur du transport, elle établit une réduction des émissions de 28% (par rapport à 2015) à l'horizon 2030, visant la neutralité carbone pour 2050. Ces objectifs seront atteints entre autres, à travers la décarbonation de l'énergie consommée, l'amélioration des conditions de circulation et la réduction de l'empreinte carbone des infrastructures.

2 CONTEXTE

Conformément à l'article R.122-5 du code de l'environnement, une étude d'impact doit contenir une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant entre autres : Des incidences du projet sur le climat et de la vulnérabilité du projet au changement climatique.

L'impact d'un projet routier en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) doit s'apprécier au regard d'une situation de référence, correspondant au scénario le plus probable en l'absence de réalisation du projet évalué. L'impact GES du projet est égal à la différence d'émission de gaz à effet de serre entre la situation de référence et la situation projet. Cet impact doit être évalué sur les différentes phases du cycle de vie du projet : phase de construction, phase d'utilisation et phase de fin de vie.

Les principaux gaz à effet de serre sont :

- Le gaz carbonique (CO₂) d'origine fossile, dont la durée de résidence dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,
- Le méthane (CH₄), dont la durée de résidence dans l'atmosphère est de l'ordre de la décennie,
- L'oxyde nitreux (N₂O), dont la durée de résidence dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,

- Les hydrofluorocarbures (CnHmFp), dont la durée de résidence dans l'atmosphère s'échelonne de quelques semaines à quelques siècles,
- Les perfluorocarbures (CnF_{2n+2}), dont la durée de résidence dans l'atmosphère est de l'ordre de quelques siècles à plusieurs dizaines de millénaires,
- L'hexafluorure de soufre (SF₆), dont la durée de résidence dans l'atmosphère est de quelques milliers d'années.

3 DOCUMENTS DE REFERENCE

Les documents de référence sont :

- Recommandations pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des projets routiers (Cerema, mai 2020),
- Base Carbone – Ademe.

4 PRESENTATION DU PROJET

4.1 Description du projet

La variante retenue pour le contournement de Tilloy-lès-Mofflaines est présentée dans la Figure 1.

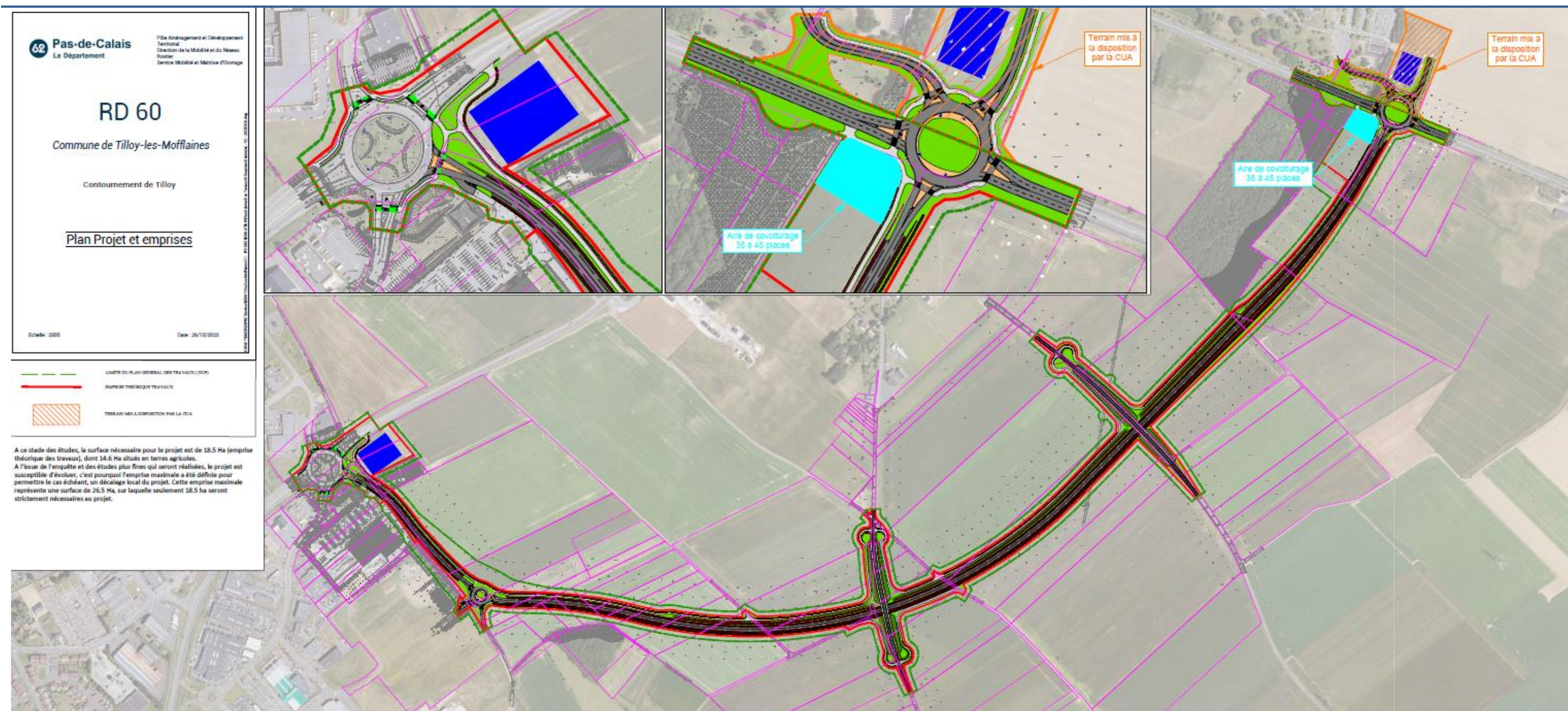


Figure 1 : Localisation du contournement routier
(Source : Département du Pas de Calais, 06/12/2023).

Cette variante comporte les caractéristiques suivantes (Cf. Figure 2) :

- Un linéaire d'environ 2,77 km,
- Largeur de la chaussée de 7 m avec une bande dérasée de 2 m de part et d'autre,
- Un fossé en béton sur tout le linéaire et d'une largeur de 1,5 m,

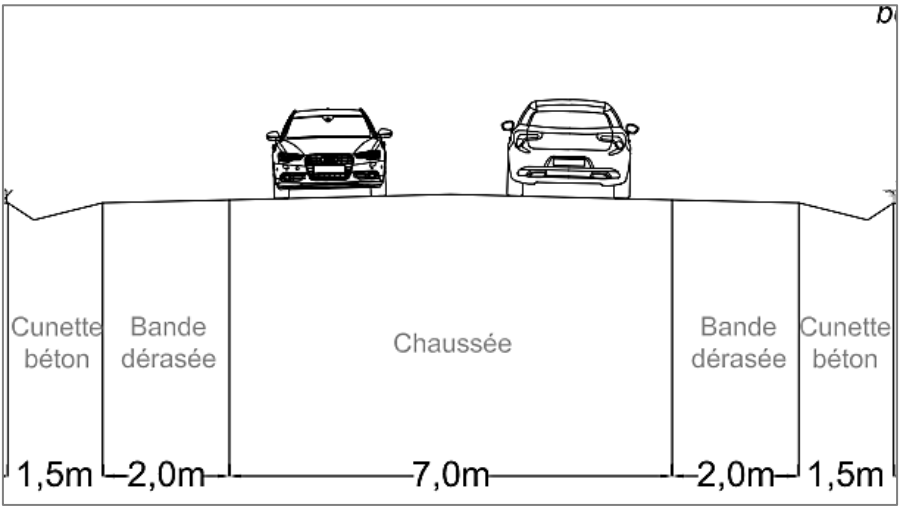


Figure 2 : Profil en travers de l'emprise routière

(Source : Département du Pas de Calais)

- 2 ouvrages d'art de type pont cadre (PSIDA) en passage supérieur pour rétablir la voie communale "rue de Neuville" et la route départementale RD37E1 (Cf. Figure 3) d'une surface respectivement de 560m² chacun,

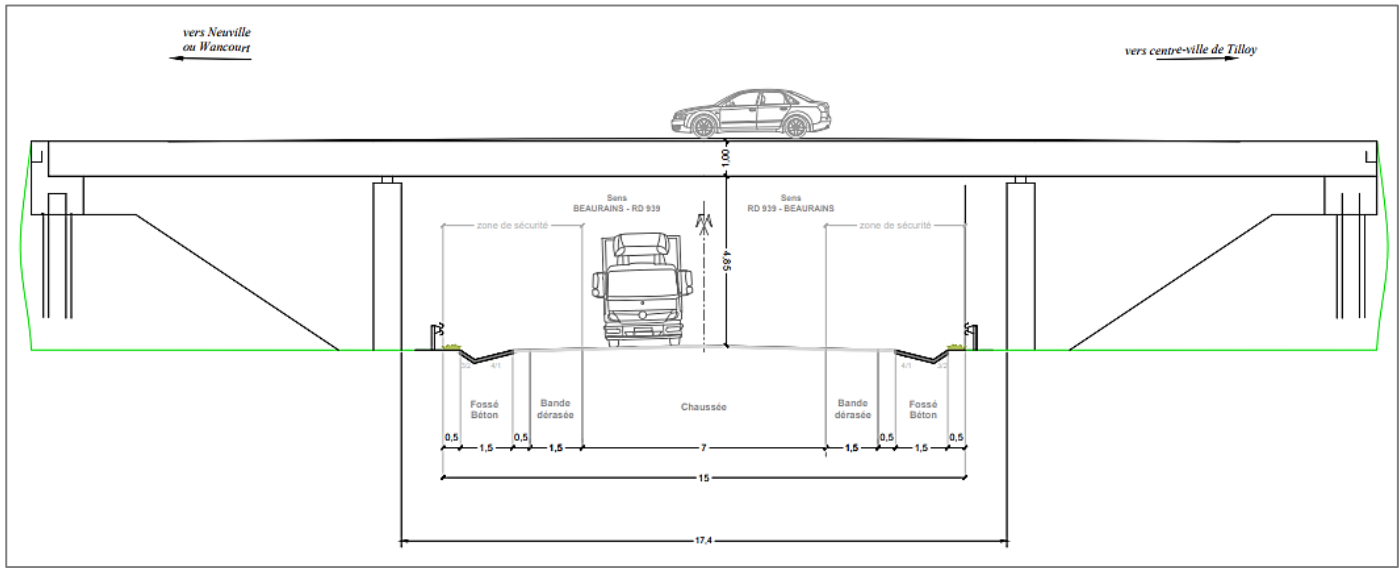


Figure 3 : Profils en travers des ponts cadres (ouvrages d'art)

(Source : Département du Pas de Calais).

- 3 giratoires (2 créés et 1 réaménagé),



Giratoire Brico Dépôt (réaménagé)



Giratoire Häagen Dazs



Giratoire Boréal 2 (extension ZAC Boréal)

Figure 4 : Vue en plan des giratoires du projet

(Source : Département du Pas de Calais).

- Une vitesse de circulation de 80 km/h,
- 1 755 m du linéaire sera réalisé en déblai,
- Environ 675 m du linéaire sera en remblai,
- Durée de dimensionnement des chaussées estimé à : 30 ans.

4.1 Contexte géographique - occupation du sol

Le contournement de Tilloy-lès-Mofflaines s'insère dans un contexte principalement agricole de monocultures intensives (code Eunis I1.1) (Figure 5).

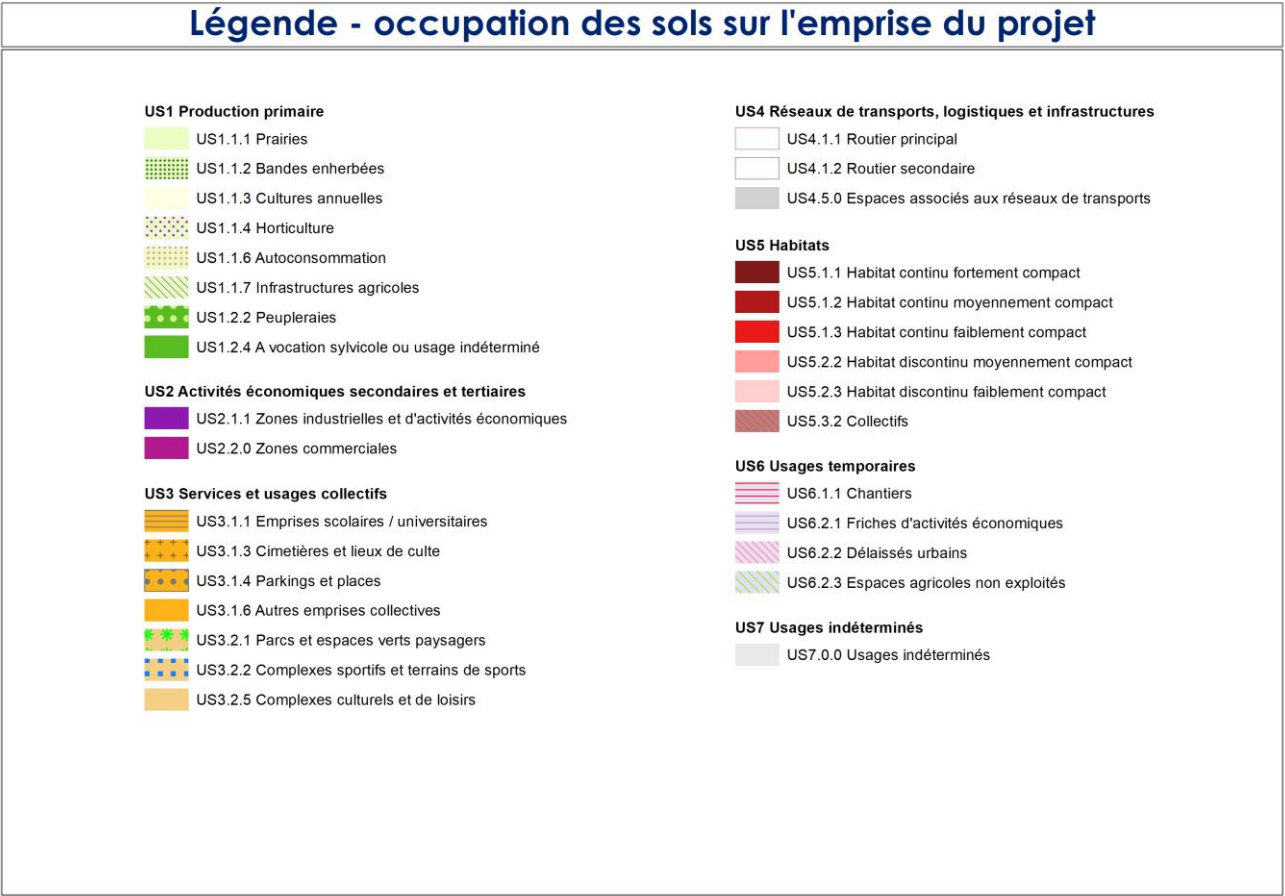
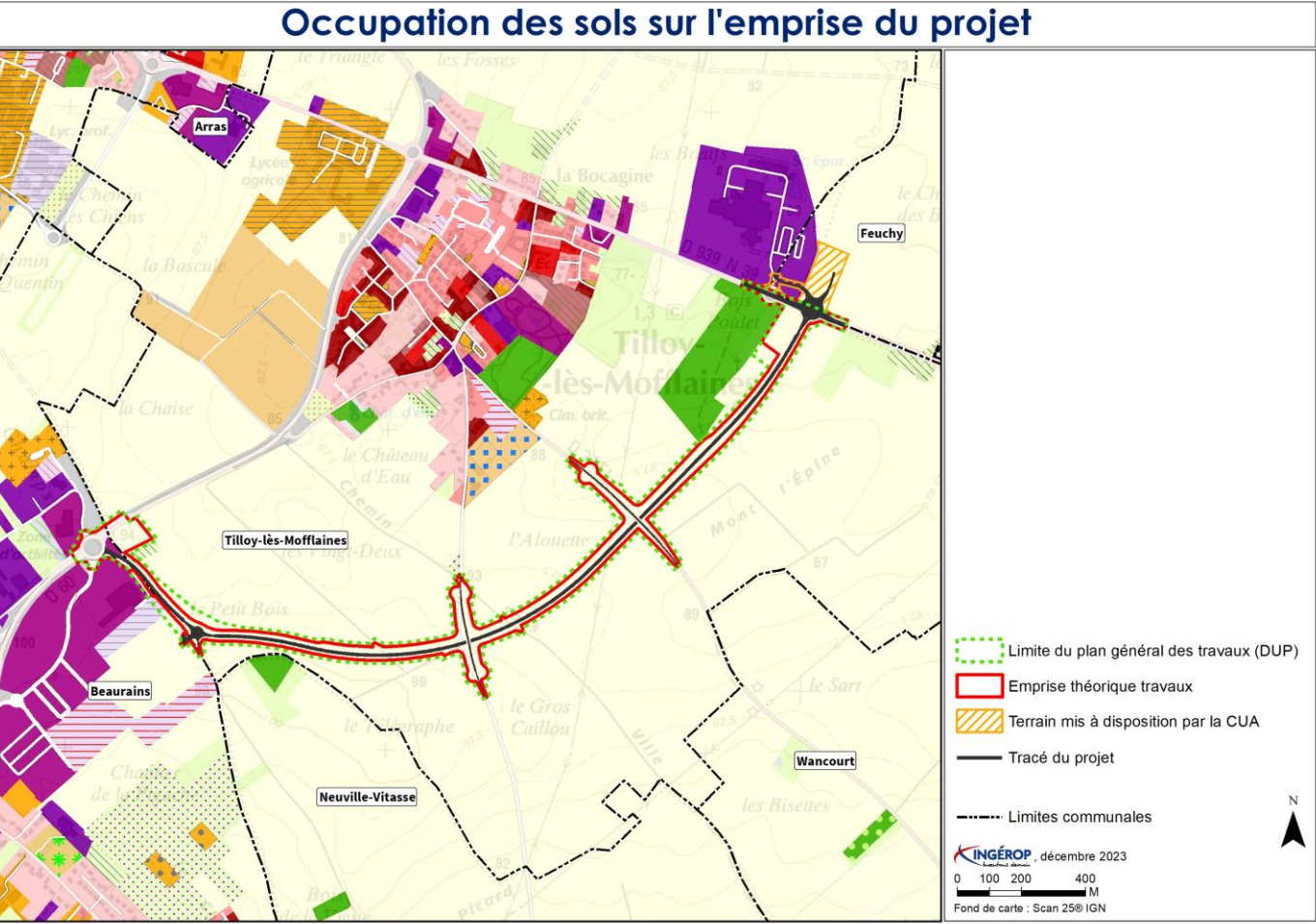


Figure 5 : Occupation du sol au droit du projet
(Source : Ingerop, 12/2023)



5 METHODOLOGIE GLOBALE

5.1 Principe de calcul

Le principe de calcul utilisé est basé sur une méthode d'estimation indirecte des GES engendrés par les différentes activités. En effet, les activités combinées à leurs facteurs d'émission (kg CO₂e/unité) permettent d'estimer les GES émis.

Le principe de calcul est présenté dans la figure ci-dessous.

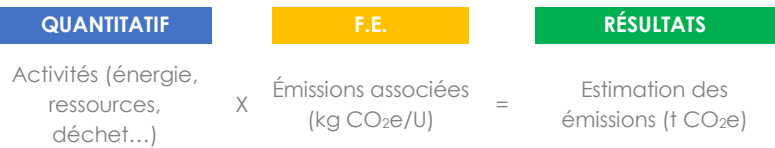


Figure 6 : Principe de calcul des émissions GES d'un projet d'infrastructure

5.2 Les facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions (FE) s'expriment en kgCO₂e par unité (e pour équivalent) et permettent de retranscrire l'impact carbone d'un matériau, d'une activité ou d'une consommation énergétique.

Pour cette étude ils sont issus de la base ADEME.

5.1 Les émissions véhiculaires

À différence des autres phases, la phase d'utilisation est particulière vis-à-vis du périmètre d'évaluation. En effet, l'impact induit par l'infrastructure ne se limite pas aux voiries créées mais a aussi des répercussions sur la circulation dans d'autres axes routiers adjacents.

Puisque l'objectif est aussi d'évaluer les émissions GES induites par le projet d'infrastructure, son impact en phase d'utilisation est estimé à partir de la variation des déplacements projetés des usagers par rapport à une situation de référence. Cette variation entre les deux scénarii résulte des modifications apportées par le projet sur le réseau de transport. Parmi ces modifications on peut citer : la diminution des distances parcourues, la variation des vitesses de circulation et la réduction des phénomènes de congestion.

Ainsi, la méthode d'évaluation de l'empreinte carbone en phase d'utilisation consiste d'abord à estimer les émissions GES des véhicules au sein du périmètre impacté par le projet suivant les scénarii référence (fil de l'eau) et projet. Ces scénarii sont construits à partir des résultats obtenus lors de la modélisation du réseau de transport et qui permettent de quantifier les impacts dans la circulation.

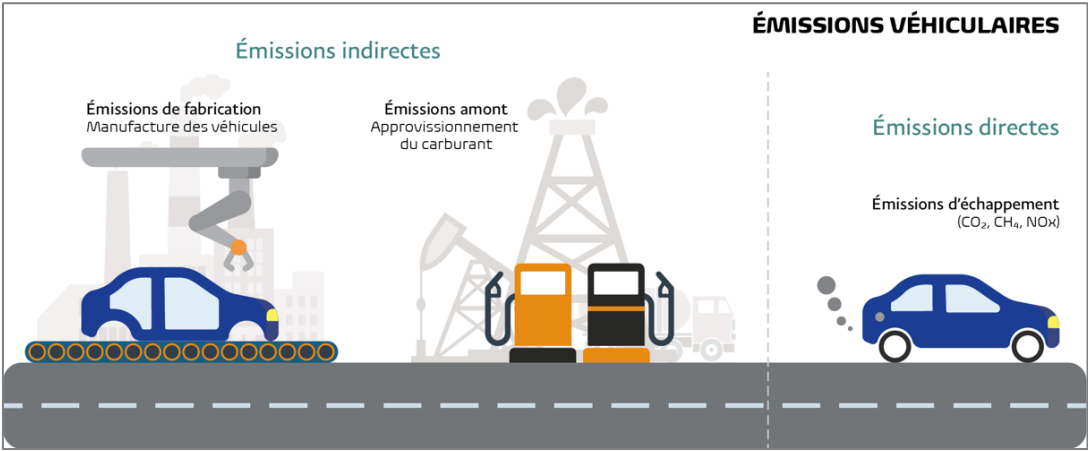


Figure 7 : Représentation des émissions indirectes et directes produites par l'utilisation des véhicules

5.2 Périmètre de l'évaluation

Le périmètre générique d'une évaluation des gaz à effet de serre (GES) d'un projet se décompose entre sa conception, sa construction, son exploitation, et sa fin de vie. Dans le cadre du projet, le périmètre a été restreint à sa conception, sa construction et son exploitation.

Dans ce cadre du projet, les GES ont été évalués pour :

- Les changements d'affectation des sols,
- La réalisation des terrassements,
- La construction, l'entretien des chaussées et équipements de sécurité,
- A l'utilisation et l'exploitation du projet.

5.2.1 Périmètre temporel

La période d'évaluation correspond à la durée retenue pour la modélisation des flux d'énergie et matière engendrés par le cycle de vie de l'infrastructure. Elle concerne notamment, la durée de la phase de fonctionnement du projet ainsi que la quantité de travaux de maintenance.

Pour cette évaluation, il a été décidé de prendre en compte une durée conforme au volet air et santé du fait du lien entre de ces deux études, soit 30 ans après la mise en service. Pour cette période d'évaluation, les émissions abordées sont celles liées aux phases de construction, d'utilisation et de maintenance. Quant à la fin de vie du projet, elle n'est pas prise en compte car le projet n'a pas pour vocation d'être démantelé dans le scénario prospectif de l'évaluation carbone.

5.2.2 Périmètre spatial

L'évaluation considère deux périmètres. Le premier concerne le périmètre des travaux, limité aux emprises du projet de contournement et des aménagements routiers annexes (aménagements paysagers, bassins de rétention...).

Le second est défini par l'aire d'influence du projet sur les usagers. Ce périmètre permet de quantifier l'impact du projet sur les émissions des usagers (émissions véhiculaires) par rapport à la situation fil d'eau. L'objectif est de prendre en compte l'impact du projet sur la circulation afin d'évaluer les effets sur la consommation énergétique et en matière d'émissions GES. Ce périmètre s'apparente à celui d'une évaluation socio-économique (Cf. Volume 3 - chapitre 8 « Evaluation socio-économique du projet »).

La figure ci-après montre les réseaux routiers concernés par l'étude de trafic modélisant l'impact du projet.

Il s'agit de :

- La RD60,
- La RD939.

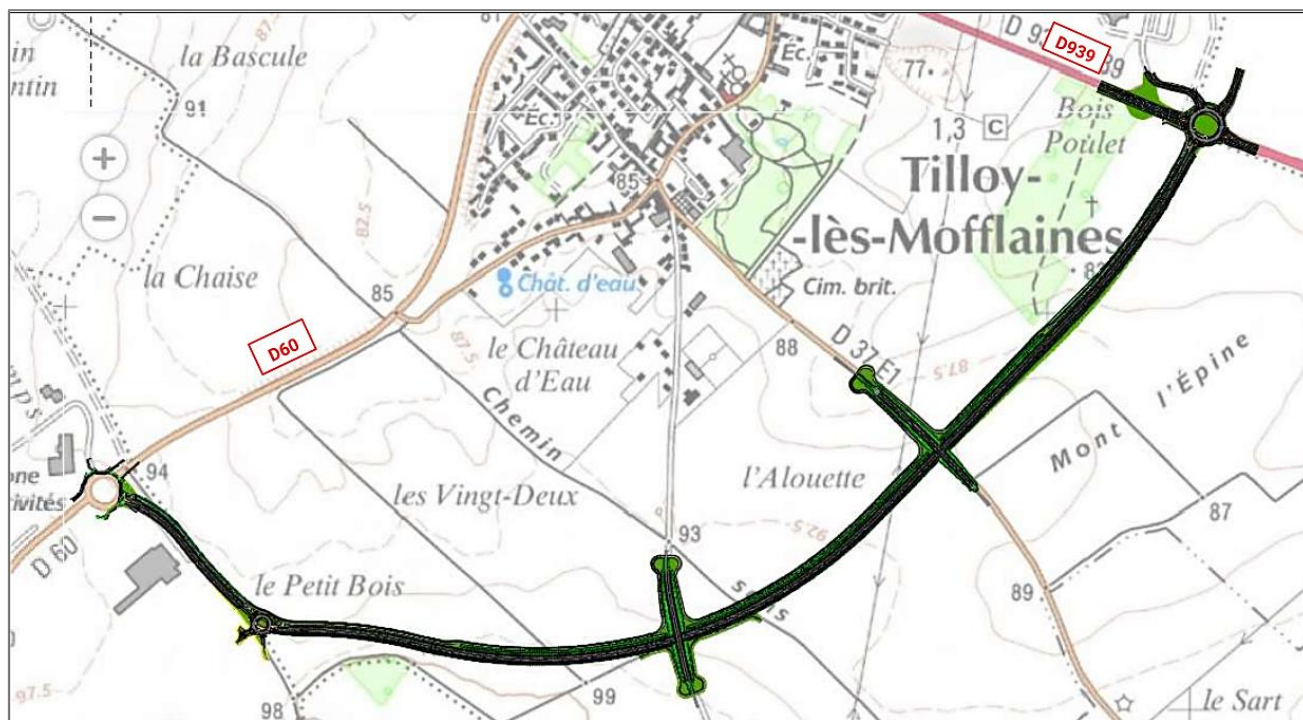


Figure 8 : Plan de localisation du projet routier

(Source : Dossier Loi sur l'Eau Verdi, 01/04/2022)

5.3 Incertitudes des données

En raison du caractère partiel des données d'entrées disponible et utilisées pour les calculs, le bilan des émissions de GES du projet est susceptible d'évoluer fortement s'il est actualisé pendant les phases ultérieures du projet.

La durée d'évaluation de 30 ans pour tous les postes est également une hypothèse simplificatrice qui peut amener à sous-estimer le bilan.

6 ESTIMATION DES VARIATIONS DES GES

6.1 Trafic généré par le projet

6.1.1 Méthodologie

L'évaluation des émissions de GES est menée sur le même périmètre géographique que celui du modèle de trafics.

Les émissions de GES liées au trafic sont calculées dans le cadre de l'étude d'impact et de l'évaluation socio-économique du projet. Le calcul repose sur les études de trafic qui fournissent les trafics et conditions de circulation des véhicules en option de référence et en option projet.

Les émissions des GES liées au trafic englobent l'ensemble des phases suivantes est :

- La phase amont de production de carburant,
- La phase amont de production des véhicules (négligeable)
- La phase d'utilisation des véhicules,
- La maintenance et fin de vie des véhicules considéré comme négligeable.

La quantification des émissions liées à l'utilisation de l'infrastructure repose sur :

- Les projections annuelles de trafics,
- La projection de parc roulant (nombre de véhicules par type de motorisation pondéré par les km effectués),
- La consommation de carburant,
- Les facteurs d'émissions des sources d'énergie utilisée par les modes de transport.

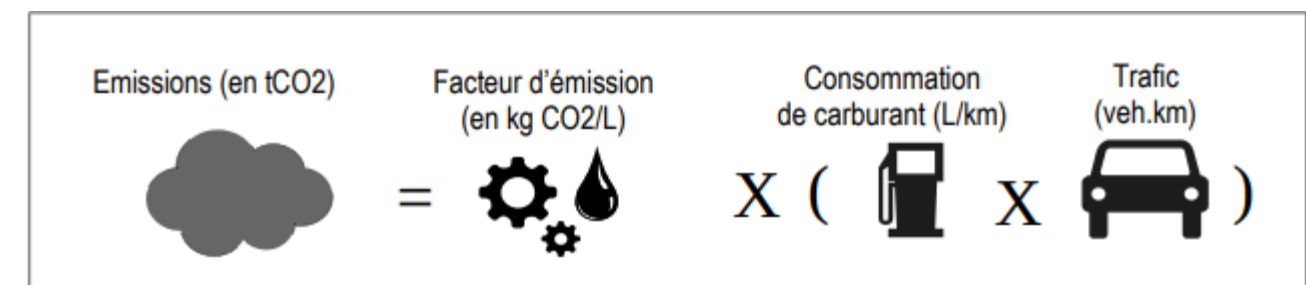


Figure 9 : Schéma de la méthode de calcul des émissions des véhicules

(Source : Cerema, mai 2020)

Les émissions de GES générées par l'utilisation du projet correspondent aux émissions dues à la circulation des véhicules en option de projet en 2056 (+ 30 ans).

Les facteurs d'émissions permettent d'estimer la quantifier de GES émise par le trafic routier.

Dans le cadre de cette étude, les facteurs d'émission associés aux véhicules sont présentés dans le Tableau 1.

| Type | Description | Unité de mesure | Facteur d'émission (kg eq CO ₂ par unité de mesure) | Source |
|----------------|---------------------------------|-----------------|--|---|
| Véhicule léger | Carburant (amont et combustion) | km | 0,192 | Voiture motorisation moyenne 2018 |
| | Fabrication | km | 0,0256 | |
| Poids lourds | Carburant amont | km | 0,249 | Camion remorque - grand volume, PTR A 40T |
| | Carburant combustion | km | 0,954 | |
| | Fabrication | km | 0,11 | |

Tableau 1 : Facteur d'émission associés au trafic des véhicules –

(Source Ademe)

Prise en compte de l'évolution du parc

Le facteur d'émission de l'ADEME est un facteur à 2018, il ne tient pas compte de l'évolution du parc automobile et notamment sa décarbonation ou encore l'amélioration des performances de consommation. Les calculs présentent donc un biais défavorable pour les horizons les plus éloignés.

Afin de proposer une approche concrète plus proche de la réalité, nous proposons de nous appuyer sur le document ministériel **Synthèse du scénario « Avec mesures existantes » 2021 (AME 2021) – projections climat et énergie à 2050** de juin 2021 pour établir un coefficient de correction simplifié pour le facteur d'émission à considérer.

Sur la base des tableaux de ce document (23 et 24 pour les VL puis 33 et 34 pour les PL) et considérant en première approximation l'horizon 202 comme équivalent à 2026 et 2050 à 2056 :

| Pour les VL : | Pour les PL : |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - véhicule-kilomètre donnant lieu à des émissions : <ul style="list-style-type: none"> • En 2018 : 100% • En 2025 : 90% • En 2050 : 56,5% - baisse de consommation moyenne : <ul style="list-style-type: none"> • Entre 2018 et 2025 de -10,19% • Entre 2018 et 2050 de -18,57% - De ces deux paramètres, on tire le coefficient correctif qui sera appliqué au facteur d'émission pour les VL (hors fabrication) : <ul style="list-style-type: none"> • En 2025 : 0,8083 • En 2050 : 0,4601 | <ul style="list-style-type: none"> - véhicule-kilomètre donnant lieu à des émissions : <ul style="list-style-type: none"> • En 2018 : 100% • En 2025 : 100% • En 2050 : 92% - baisse de consommation moyenne : <ul style="list-style-type: none"> • Entre 2018 et 2025 de -1,49% • Entre 2018 et 2050 de -22,62% - De ces deux paramètres, on tire le coefficient correctif qui sera appliqué au facteur d'émission pour les PL (hors fabrication) : <ul style="list-style-type: none"> • En 2025 : 0,9851 • En 2050 : 0,7119 |

D'où le tableau précédent repris :

| Type | Description | Unité de mesure | Facteur d'émission (kg eq CO ₂ par unité de mesure) recalculé |
|----------------|---------------------------------|-----------------|---|
| Véhicule léger | Carburant (amont et combustion) | km | 0,1218 |
| | Fabrication | km | 0,0256 |
| | TOTAL | km | 0,1474 |
| Poids lourds | Carburant amont | km | 0,2113 |
| | Carburant combustion | km | 0,8095 |
| | Fabrication | km | 0,1100 |
| | TOTAL | km | 1,1307 |

Tableau 2 : Facteurs d'émission associés au trafic des véhicules utilisés pour les calculs

6.1.1 Données d'entrée

L'évaluation des émissions produites par la circulation routière des usagers est faite sur la base d'une étude de trafic réalisée en 2022 par le bureau d'étude Egis (Cf. en annexe du présent document).

Un report d'une partie du trafic de la RD 60 sur le contournement routier est prévu. Cependant, le projet ne prévoit pas de report de trafic de la RD939 sur le contournement.

Les horizons considérés sont les suivants :

- La mise en service: 2026,
- Evolution à +30 ans : 2056.

Les scénarios considérés sont les suivants :

- Scénario de référence en 2026 sans le projet,
- Scénario 2026 avec le contournement et interdiction du trafic de transit de poids lourds.

Les linéaires de voies considérés sont les suivants :

- Longueur tronçon RD60 : 1,6 km,
- Longueur tronçon RD939 : 1,3 km,
- Longueur du projet : 2,77 km.

Les trafics considérés sont présentés dans le

| Repère | Localisation | Mise en service (2026) | | | | Mise en service + 30ans (2056) | | | |
|--------|--------------|------------------------|-------|------|-------|--------------------------------|-------|------|-------|
| | | Sans projet | | | | Sans projet | | | |
| | | TV | VL | PL | %PL | TV | VL | PL | %PL |
| 1 | RD939-1 | 18325 | 15540 | 2785 | 15,2% | 21283 | 18048 | 3234 | 15,2% |
| 2 | RD939-2 | 26855 | 22235 | 4620 | 17,2% | 31189 | 25824 | 5366 | 17,2% |
| 3 | RD939-3 | 25790 | 21065 | 4725 | 18,3% | 29953 | 24465 | 5488 | 18,3% |
| 4 | RD939-4 | 23025 | 18470 | 4555 | 19,8% | 26741 | 21451 | 5290 | 19,8% |
| 5 | RD60-1 | 20175 | 17775 | 2400 | 11,9% | 23431 | 20644 | 2787 | 11,9% |
| 6 | RD60-2 | 21670 | 20170 | 1500 | 6,9% | 25168 | 23425 | 1742 | 6,9% |
| 7 | RD60-3 | 20335 | 19015 | 1320 | 6,5% | 23617 | 22084 | 1533 | 6,5% |
| 8 | RD60-4 | 19090 | 18230 | 860 | 4,5% | 22171 | 21172 | 999 | 4,5% |
| 9 | Projet | | | | | | | | |

Tableau 3 et 3 ainsi que sur la carte ci-après.

| Repère | Localisation | Mise en service (2026) | | | | Mise en service + 30ans (2056) | | | |
|--------|--------------|------------------------|-------|------|-------|--------------------------------|-------|------|-------|
| | | Sans projet | | | | Sans projet | | | |
| | | TV | VL | PL | %PL | TV | VL | PL | %PL |
| 1 | RD939-1 | 18325 | 15540 | 2785 | 15,2% | 21283 | 18048 | 3234 | 15,2% |
| 2 | RD939-2 | 26855 | 22235 | 4620 | 17,2% | 31189 | 25824 | 5366 | 17,2% |
| 3 | RD939-3 | 25790 | 21065 | 4725 | 18,3% | 29953 | 24465 | 5488 | 18,3% |
| 4 | RD939-4 | 23025 | 18470 | 4555 | 19,8% | 26741 | 21451 | 5290 | 19,8% |
| 5 | RD60-1 | 20175 | 17775 | 2400 | 11,9% | 23431 | 20644 | 2787 | 11,9% |
| 6 | RD60-2 | 21670 | 20170 | 1500 | 6,9% | 25168 | 23425 | 1742 | 6,9% |
| 7 | RD60-3 | 20335 | 19015 | 1320 | 6,5% | 23617 | 22084 | 1533 | 6,5% |
| 8 | RD60-4 | 19090 | 18230 | 860 | 4,5% | 22171 | 21172 | 999 | 4,5% |
| 9 | Projet | | | | | | | | |

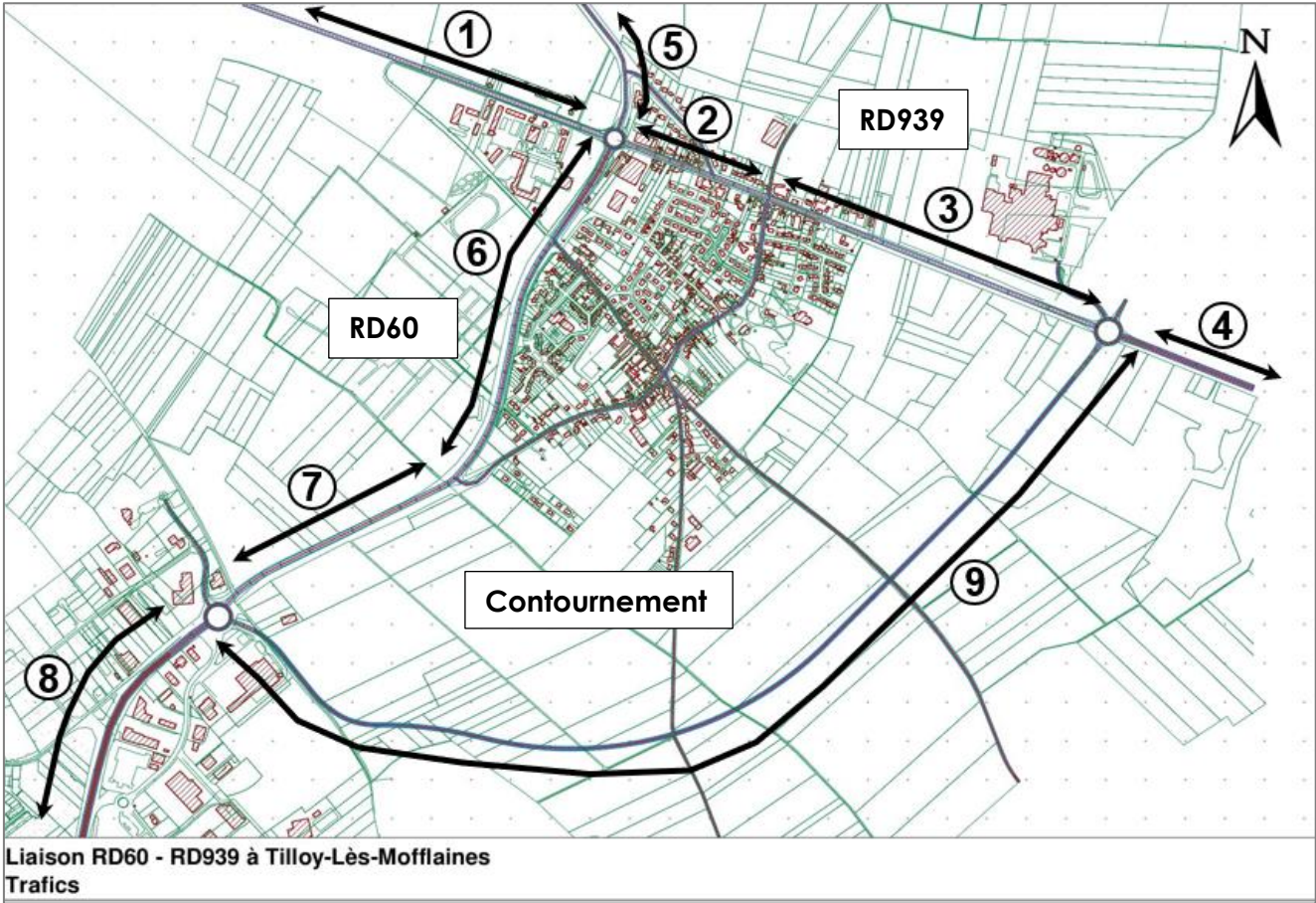


Figure 10 : Localisation des points de trafics considérés
(Source : Département du Pas-de-Calais)

Scénario sans projet

| Repère | Localisation | Mise en service (2026) | | | | Mise en service + 30ans (2056) | | | |
|--------|--------------|------------------------|-------|------|-------|--------------------------------|-------|------|-------|
| | | Sans projet | | | | Sans projet | | | |
| | | TV | VL | PL | %PL | TV | VL | PL | %PL |
| 1 | RD939-1 | 18325 | 15540 | 2785 | 15,2% | 21283 | 18048 | 3234 | 15,2% |
| 2 | RD939-2 | 26855 | 22235 | 4620 | 17,2% | 31189 | 25824 | 5366 | 17,2% |
| 3 | RD939-3 | 25790 | 21065 | 4725 | 18,3% | 29953 | 24465 | 5488 | 18,3% |
| 4 | RD939-4 | 23025 | 18470 | 4555 | 19,8% | 26741 | 21451 | 5290 | 19,8% |
| 5 | RD60-1 | 20175 | 17775 | 2400 | 11,9% | 23431 | 20644 | 2787 | 11,9% |
| 6 | RD60-2 | 21670 | 20170 | 1500 | 6,9% | 25168 | 23425 | 1742 | 6,9% |
| 7 | RD60-3 | 20335 | 19015 | 1320 | 6,5% | 23617 | 22084 | 1533 | 6,5% |

| | | | | | | | | | |
|---|--------|-------|-------|-----|------|-------|-------|-----|------|
| 8 | RD60-4 | 19090 | 18230 | 860 | 4,5% | 22171 | 21172 | 999 | 4,5% |
| 9 | Projet | | | | | | | | |

Tableau 3 : Données d'entrée pour le trafic – au fil de l'eau

(Source : Département du Pas-de-Calais)

Scénario avec projet

| Repère | Localisation | Mise en service (2026) | | | | Mise en service + 30ans (2056) | | | |
|--------|--------------|------------------------|-------|------|-------|--------------------------------|-------|------|-------|
| | | Avec projet | | | | Avec projet | | | |
| | | TV | VL | PL | %PL | TV | VL | PL | %PL |
| 1 | RD939-1 | 14395 | 12710 | 1685 | 11,7% | 16718 | 14761 | 1957 | 11,7% |
| 2 | RD939-2 | 21900 | 19175 | 2725 | 12,4% | 25435 | 22270 | 3165 | 12,4% |
| 3 | RD939-3 | 21440 | 18715 | 2725 | 12,7% | 24900 | 21736 | 3165 | 12,7% |
| 4 | RD939-4 | 25325 | 20355 | 4970 | 19,6% | 29412 | 23640 | 5772 | 19,6% |
| 5 | RD60-1 | 18780 | 16805 | 1975 | 10,5% | 21811 | 19517 | 2294 | 10,5% |
| 6 | RD60-2 | 12485 | 11515 | 970 | 7,8% | 14500 | 13374 | 1127 | 7,8% |
| 7 | RD60-3 | 12010 | 11160 | 850 | 7,1% | 13948 | 12961 | 987 | 7,1% |
| 8 | RD60-4 | 23890 | 21165 | 2725 | 11,4% | 27746 | 24581 | 3165 | 11,4% |
| 9 | Projet | 23805 | 20145 | 3660 | 15,4% | 27647 | 23396 | 4251 | 15,4% |

Tableau 4 : Données d'entrée pour le trafic – situation avec projet

(Source : Département du Pas-de-Calais)

6.1.2 Résultats

Le delta entre le scénario « au fil de l'eau » et « avec projet » permet d'estimer l'évolution des émissions de GES liées à l'évolution du trafic sur 30 ans dans le périmètre spatial du projet

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

| Delta entre les deux sc. avec et sans projet (cumul 2026-2056) | | | | |
|--|---------------------|---|--|-----------------|
| Description | | Somme sur 30 ans des distances parcourues en plus (en km) | Facteur d'émissions moyen sur la période (kgeq CO2 par km) | Total (teq CO2) |
| Delta | Poids lourds | 82 613 442 | 1,1307 | 93 411 |
| | VL - diesel/essence | 477 193 875 | 0,1474 | 70 338 |
| Total | | | | 163 749 |

Tableau 5 : Evolution des émissions de GES - scénario sans projet - sur 30 ans causées par le trafic routier

Ainsi 163 749 t CO2e seront émis sur 30 ans. Cette émission est causée par le report d'une partie du trafic de la RD60 et de la RD939 sur le contournement ainsi que l'interdiction du trafic de transit de

PL dans la traversée de Tilloy-lès-Mofflaines ce qui a pour effet d'augmenter le trafic sur le contournement.

6.2 Changement d'affectation des sols – Artificialisation

6.2.1 Méthodologie

On parle de changement d'affectation des sols lorsque l'activité humaine modifie la constitution et la fonction d'un terrain. Tout changement d'affectation d'un sol peut fortement modifier ses capacités de stockage ou d'émissions de GES à travers deux phénomènes :

- Une modification des stocks de carbone contenus dans les sols,
- Une modification de la capacité de captation du carbone par l'écosystème (« puits de carbone »).

Les changements d'affectation des sols modifient les stocks de carbone contenus sur les sols. Il peut en résulter soit une émission de CO2 (déstockage de carbone des sols) soit une captation de CO2.

Les cinétiques de stockage/déstockage du carbone entraînées par des changements d'affectation des sols sont des phénomènes qui s'inscrivent sur de longues périodes, la vitesse de déstockage à une échelle de 30 ans étant deux fois plus rapide que la vitesse de stockage.

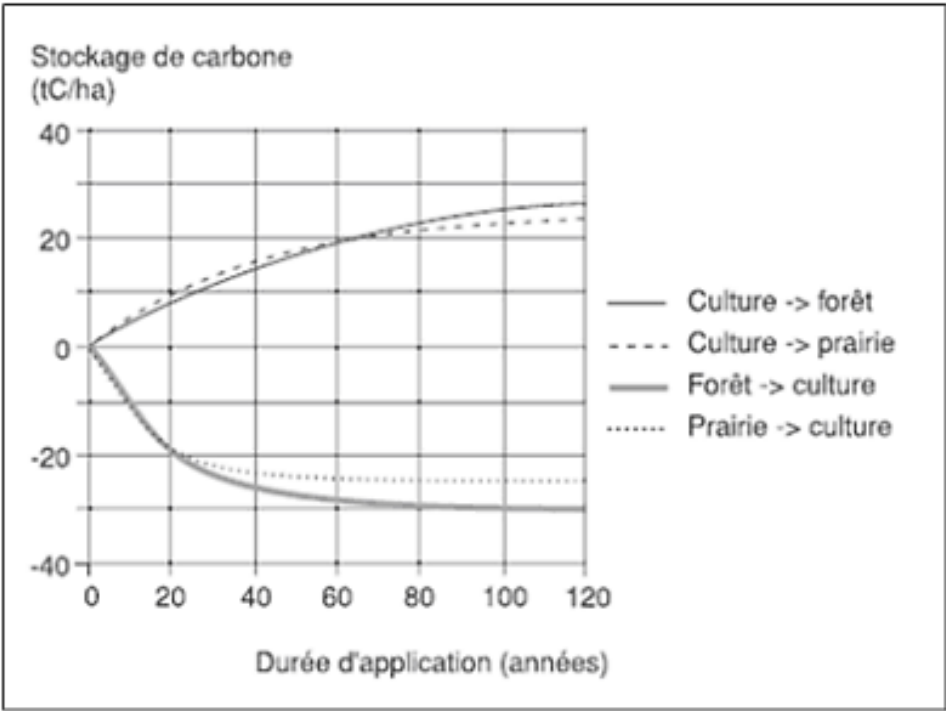


Figure 11 : Evolution des stocks de carbone à la suite d'un changement d'affectation des sols

(Source : Cerema, mai 2020)

Pour tenir compte de cet impact, l'ADEME propose une méthode d'évaluation sur la base des dynamiques de stockage carbone en fonction du type de sol étudié.

Les facteurs d'émission (ou de captation) utilisés par cette méthode sont montrés dans le Tableau 6.

| Description | Unité de mesure | Facteur d'émission (kg eq CO ₂ par unité de mesure) |
|---------------------------------------|-----------------|--|
| Forêt vers sols imperméabilisés | m² | 29 |
| Prairie vers sols imperméabilisés | m² | 29 |
| Culture vers sols imperméabilisés | m² | 19 |
| Forêt vers sols non imperméabilisés | m² | 0 |
| Prairie vers sols non imperméabilisés | m² | 0 |
| Culture vers sols non imperméabilisés | m² | 0 |
| Culture vers prairie | m² | -5,4 |
| Culture vers forêt | m² | -4,83 |
| Prairie vers forêt | m² | -1,11 |
| Prairie vers culture | m² | 2,85 |
| Forêt vers culture | m² | 8,25 |
| Forêt vers prairie | m² | 1,11 |

Tableau 6 : FE de niveau 2, changement d'affectation des sols

(Source : Cerema/Ademe)

Les émissions liées à l'artificialisation des sols sont intégrées dans les émissions de la phase de construction.

6.2.1 Données d'entrée

L'occupation du sol issu de l'état initial de l'étude d'impact (en distinguant les zones perméabilisées et Imperméabilisées) ont été utilisés pour évaluer l'impact sur l'occupation du sol par le projet.

Le croisement de ces informations a permis d'estimer les surfaces impactées (Tableau 7).

Les surfaces de terrain imperméabilisées par rapport à la situation de référence correspondent aux emprises de la voirie :

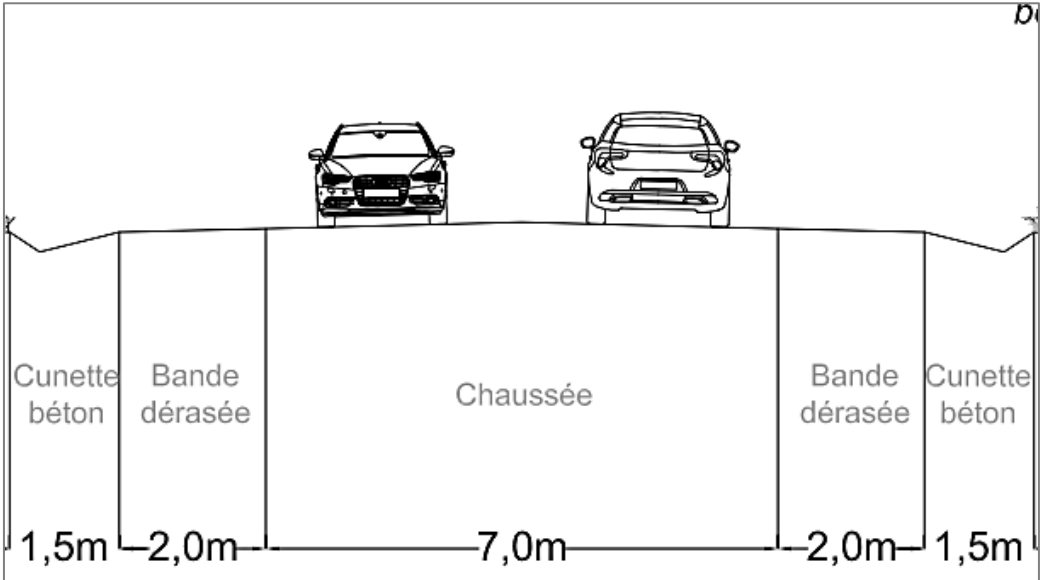


Figure 12 : Profil en travers de l'emprise routière

(Source : Département du Pas de Calais)

- Surfaces de voiries pour la section courante : 7m de chaussée + deux bandes de dérasés de 2,0 m + deux fossés en béton de 1,5 m = 14 m²

Cette emprise de voirie est à appliquer sur toute la longueur du tracé soit sur 2 770 m.

D'autre part, le projet va uniquement s'implanter au niveau des cultures, aucun boisement ni prairie ne sera impacté.

Ainsi les surfaces imperméabilisées sont les suivantes :

| Description | Surface (m²) |
|------------------------------------|--------------|
| Cultures vers sols imperméabilisés | 38 780 |

Tableau 7 : Changement d'affectation du sol après la réalisation du projet

6.2.2 Résultats

La réalisation du projet va générer une imperméabilisation du sol qui va engendrer des émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Celle-ci correspond au déstockage de carbone se trouvant dans les cultures.

| Description | | | Unité | Facteur d'émissions (kgeq CO2 par unité de mesure) | Quantité | Total (teq CO2) |
|----------------------|--------------------------------------|------------------|-------|--|----------|-----------------|
| Sols imperméabilisés | Culture vers surface imperméabilisée | Section courante | m² | 19 | 38 780 | 736.8 |
| Total | | | | | | 737 |

Tableau 8 : Emissions de GES causées par le changement d'affectation du sol engendré par le projet

Ainsi la réalisation du projet va libérer 737 t CO₂e dans l'atmosphère. Cette émission aura lieu cependant au moment de la phase travaux et non durant la phase exploitation de l'infrastructure.

6.3 Terrassements

6.3.1 Méthodologie

Le périmètre retenu pour les facteurs d'émissions est :

- La production des matières premières (déblais, granulats, chaux),
- Le transport des matériaux et des matériels,
- L'utilisation des engins pour la mise en œuvre.

Les déplacements de personnels pendant la durée du chantier ne sont pas pris en compte.

Les facteurs d'émission sont agrégés sur la base de formulations standard et pour trois niveaux de distance de transport. En effet, le transport de matériaux peut représenter une part importante des émissions de GES. Les valeurs dépendent du contexte régional de disponibilité des ressources, c'est pourquoi trois jeux de valeurs sont donnés :

| | Proche | Moyen | Eloigné |
|--|--------|-------|---------|
| Matériaux d'apport pour remblai | 5 km | 10 km | 20 km |
| Matériaux d'apport pour la couche de forme | 10 km | 20 km | 40 km |
| Mise en dépôt / décharge | 1 km | 3 km | 10 km |
| Transport interne au chantier (dépôt provisoire, déblais mis en remblais...) | 0,3 km | 1 km | 3 km |

Tableau 9 : Distance de transport de matériaux prise en compte dans l'élaboration du facteur d'émission

(Source : Cerema, mai 2020)

Au vu du contexte géographique de la zone d'étude, les facteurs d'émissions en lien avec la distance de transport des matériaux ont été estimés comme « éloigné » pour le projet de contournement de Tilloy-lès-Mofflaines (majorant).

Ainsi les facteurs d'émission utilisés dans le cadre du projet sont présentés dans le tableau suivant :

| Description | Unité | Facteur d'émission (kg eq CO2 par unité de mesure) | | |
|---|-------|--|---------|-----------|
| | | Distance | | |
| | | Proche | Moyenne | Eloignées |
| Excavation de déblais et transport pour mise en décharge | m³ | 0,937 | 1,29 | 2,52 |
| Excavation de déblais, transport par tombereau dans l'enceinte du chantier et mise en remblai | m³ | 1,41 | 2,28 | 4,78 |
| Fourniture, transport et mise en œuvre de matériaux d'apport en remblai | m³ | 1,15 | 2,03 | 3,79 |
| Supplément de mise en œuvre pour le traitement de matériaux humides à la chaux (taux de chaux à 0,75%) | m³ | | 14,3 | |
| Supplément de mise en œuvre pour le traitement à la chaux de l'arase des terrassements en vue d'une amélioration de la PST (Taux à la chaux de 1,75%) | m² | | 11,6 | |

| Description | Unité | Facteur d'émission (kg eq CO2 par unité de mesure) | | |
|---|-------|--|---------|-----------|
| | | Distance | | |
| | | Proche | Moyenne | Eloignées |
| Fourniture, transport et mise en œuvre de matériaux de couche de forme non traitée | m³ | 6,33 | 8,09 | 11,6 |
| Excavation de déblai, transport par tombereau dans l'enceinte du chantier et mise en œuvre pour une couche de forme en matériaux du site traités aux liants hydrauliques routiers avec enduit de cure | m³ | 28,2 | 30,5 | 36,1 |
| Excavation de déblai, transport par tombereau dans l'enceinte du chantier et mise en œuvre pour une couche de forme en matériaux du site traités aux liants hydrauliques routiers avec enduit de cure avec un liant à base de laitiers (6%) | m³ | 28,2 | 30,5 | 36,1 |

Tableau 10 : FE associé aux terrassements

(Source : Cerema, mai 2020)

6.3.1 Données d'entrée

Il est nécessaire de connaître les matériaux qui vont être générés lors du terrassement (volumes de déblais et de remblais) et d'estimer les besoins en matériaux extérieur au projet.

Ces données permettent d'estimer les distances de transport nécessaire lors de cette phase de terrassement (transports plus ou moins proche selon les lieux d'apport de matériaux, la base chantier...).

Le profil en long du contournement présenté en Figure 13, permet de déterminer les volumes de remblais et déblais nécessaires.

- En jaune : zones de déblais,
- En rouge : zones de remblai.

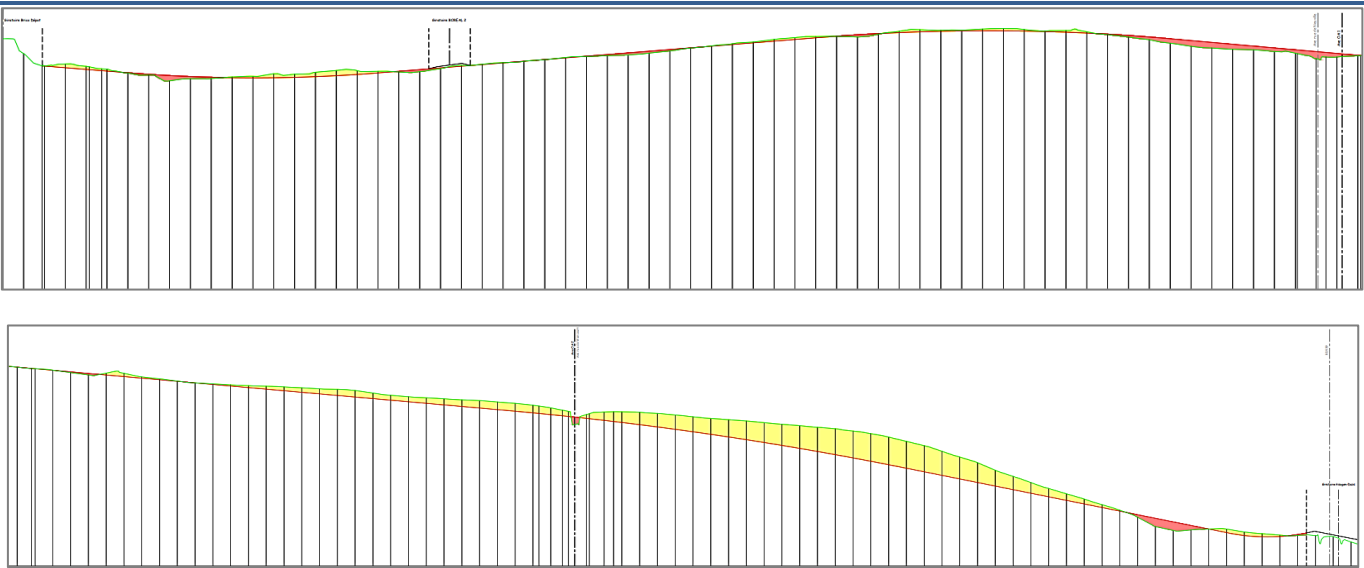


Figure 13 : Profil en long du contournement
(Source département du Pas de Calais)

Le Tableau 11 présente les différents volumes des mouvements de terre du projet.

| Type | Volume en m3 |
|-----------------------------|--------------|
| Déblais | 81 028 |
| Remblais | 61 098 |
| Remblais traités à la chaux | 12 000 |

Tableau 11 : Volume de déblais/remblai

(Source : Département du Pas de Calais)

D'après le tableau ci-dessus, sur l'ensemble de l'opération, il existe un excédent d'environ 20 000 m³ matériaux.

Dans la mesure du possible, les déblais seront réutilisés dans le cadre du projet sous réserve de leurs compatibilités géotechniques. En effet la présence de limon peut rendre ces matériaux d'excavation impropres à la réutilisation en remblais.

Des hypothèses concernant les taux moyens de traitement des matériaux sont définis dans le tableau suivant :

| Type | Volume en m3 |
|--|----------------------------|
| Taux de traitement des remblais à la chaux | 0,75 % |
| Taux de traitement de la PST à la chaux | 1,75 % |
| Taux de traitement aux liants hydrauliques à base de laitiers pour couche de forme | 6 % (dont 65 % de clinker) |

Tableau 12 : Taux de traitement moyens des matériaux

(Source : Cerema, mai 2020)

Il est à noter que le facteur d'émissions lié au traitement à la chaux est toujours considéré avec une distance de transport de matériaux de catégorie « moyen ».

Le projet ne nécessite pas de remblais d'apport. Cependant, il sera potentiellement nécessaire de traiter 12 000 m³ à la chaux avant de les réutiliser en remblais (OA, merlons...). Ce point sera vérifié dans des phases d'études ultérieures.

Les 8 000 m³ restants seront évacués du site dans des filières de traitement spécialisées.

6.3.2 Résultats

| Description | | Unité | Facteur d'émissions (kgeq CO ₂ par unité de mesure) | Quantité | Total (teq CO ₂) |
|-----------------------------|------------------|-------|--|--------------|------------------------------|
| Déblais mis en décharge | Section courante | m³ | 2,52 | 8000 | 20,16 |
| Déblais mis en remblais | Section courante | m³ | 4,78 | 20000 | 95,6 |
| Remblais traités à la chaux | Section courante | m³ | 14,3 | 12000 | 171,6 |
| | | | | Total | 287 |

Tableau 13 : Emissions de GES causées la phase de terrassement

Ainsi, lors de la phase de terrassement la réalisation du projet va générer 287 t CO₂e. Cette émission aura lieu cependant seulement au moment de la phase travaux.

6.4 Construction des chaussées

6.4.1 Méthodologie

La quantification d'émissions de GES de la phase construction de la chaussée est réalisée en prenant en compte le dimensionnement des chaussées et la structure de la chaussée. Les distances de transport des matériaux ne sont pas prises en compte.

Le type de chaussée dépend de la catégorie de voie créée (Voir Tableau 14)

| Catégorie de voie | Trafic journalier prévu en poids lourds (dans chaque sens) | Trafic journalier prévu en véhicules particuliers |
|-------------------|--|---|
| TC1 | <25 | <380 |
| TC2 | 25 à 50 | 400 à 750 |
| TC3 | 50 à 150 | 750 à 2300 |
| TC4 | 150 à 300 | 2300 à 4600 |
| TC5 | 300 à 750 | 4600 à 11500 |
| TC6 | 750 à 2000 | 11500 à 31000 |
| TC7 | 2000 à 5000 | 31000 à 77000 |
| TC8 | Plus de 5000 | Plus de 77000 |

Tableau 14 : Catégorie de voie en fonction du trafic

(Source Ademe)

Dans le cadre de cette étude, les facteurs d'émission associés aux voies sont présentés dans le Tableau 15.

| Type de voie | kgCO ₂ e / m² selon la structure | | |
|--------------|---|-------------|-----------|
| | Béton armé | Semi-rigide | Bitume |
| TC1 | 85 | 40 | 15 |
| TC2 | 87 | 45 | 20 |
| TC3 | 92 | 45 | 25 |
| TC4 | 100 | 54 | 28 |
| TC5 | 105 | 57 | 32 |
| TC6 | 115 | 60 | 37 |
| TC7 | 125 | 65 | 40 |

Tableau 15 : FE en fonction de la catégorie de voie

(Source Ademe)

6.4.2 Données d'entrée

Au regard du trafic prévu sur le contournement à la mise en service (20 145 VL et 3 660 PL), la classe de la chaussée est de type TC7. La chaussée fait 2770 m pour une largeur hors talus de 14 m (7 m de chaussée + deux bandes de décrassés et deux fossés en béton) soit 37 800 m² d'enrobé. La structure sera en bitume.

6.4.3 Résultats

| Type de voie | kgCO _{2e} / m² selon la structure | Quantité m² d'enrobé | Total (teq CO2) |
|--------------|--|----------------------|-----------------|
| | Bitume | | |
| TC7 | 40 | 38780 | 1551,2 |
| Total | | | 1551 |

Tableau 16 : Emissions de GES causées par la construction de la chaussée

Ainsi la réalisation de la chaussée pour le projet de contournement de Tilloy-lès-Mofflaines va générer 1 551 t CO_{2e}. Cette émission aura lieu cependant seulement au moment de la phase travaux et n'est pas liée à l'usage de l'infrastructure.

6.5 Ouvrages d'art

6.5.1 Méthodologie

La quantification d'émissions de GES des ouvrages est réalisée en prenant en compte le nombre d'ouvrages d'art avec leurs caractéristiques, leur cycle de vie et la quantité de matériaux lorsqu'elle est connue. Les distances de transport des matériaux ne sont pas prises en compte.

Dans le cadre de cette étude, les facteurs d'émission associés aux ouvrages d'art sont présentés dans le tableau suivant.

| Description | Unité | Facteur d'émission (kg eq CO ₂ par unité de mesure) |
|--|-------|--|
| Fabrication des matériaux et matériels | m2 | 894 |
| Transport des matériaux et matériels | m2 | 63 |
| Réalisation de l'ouvrage | m2 | 215 |
| Vie de l'ouvrage | m2 | 147 |
| Fin de vie de l'ouvrage | m2 | 64 |

Tableau 17 : facteurs d'émissions pour les ouvrages d'art

(Source : Cerema, mai 2020)

6.5.2 Données d'entrées

Les caractéristiques des deux ouvrages d'arts créés sont les suivantes :

- Surface : 40m de longueur x 14m de largeur du tablier = **560 m²**,
- Type PSIDA à 3 traversées,
- Créés en passage supérieur au-dessus du futur contournement,
- Pour rétablir la RD37E1 et la rue de Neuville.

6.5.3 Résultats

| Description | Unité | Facteur d'émissions (kgeq CO ₂ par unité de mesure) | Quantité | Total (teq CO ₂) |
|--|-------|--|----------|------------------------------|
| Fabrication des matériaux et matériels | m² | 894 | 1 120 | 1001,28 |
| Réalisation de l'ouvrage | m² | 215 | 1 120 | 240,8 |
| Vie de l'ouvrage | m² | 147 | 1 120 | 164,64 |
| Fin de vie de l'ouvrage | m² | 64 | 1 120 | 71,68 |
| Total | | | | 1 478 |

Tableau 18 : Emissions de GES engendrées par la mise en place des deux ouvrages d'art

Ainsi, la mise en place des deux ouvrages d'art de rétablissement pour le projet de contournement va générer 1 478 t CO_{2e}. Cette émission aura lieu cependant seulement au moment de la phase travaux.

6.6 Entretien de la chaussée

6.6.1 Méthodologie

La durée de service des chaussées varie selon les politiques d'entretien menées. Plusieurs politiques d'entretien sont envisageables, basées sur un renouvellement des couches de roulement ou intégrant des opérations de renforcement qui permettent de prolonger la durée de vie initiale de la chaussée.

Ainsi le choix d'une politique d'entretien influe sur le bilan des émissions de gaz à effet de serre.

Les facteurs d'émission proposés dans les tableaux ci-dessous permettent une estimation des émissions liées à la phase d'entretien, pour les structures de chaussées le plus courantes.

Ces facteurs d'émission intègrent :

- La production des matières premières (granulats, bitumes, ciment...),
- Le transport des matériaux,
- L'utilisation des engins pour la mise en œuvre.

Ils n'intègrent pas :

- Les déplacements de personnels pendant la durée du chantier,
- L'acheminement des engins,

- L'impact de la phase travaux du projet sur les infrastructures connexes (trafic et endommagement supporté par la chaussée).

Les facteurs d'émission sont agrégés sur la base de formulations standard et pour trois niveaux de distance de transport. Ils correspondent aux distances ci-dessous :

| Distances | Proche | Moyen | Eloigné |
|---|--------|---------------|---------|
| Distance carrière – centrale (granulats) | 15 km | 40 km | 100 km |
| Distance carrière – centrale (fines d'apport) | 75 km | 100 km | 150 km |
| Distance raffinerie – centrale (bitume) | 75 km | 150 km | 200 km |
| Distance cimenterie – centrale (ciment) | 75 km | 100 km | 150 km |
| Distance d'approvisionnement des agrégats d'enrobés | 0 km | 10 km | 50 km |
| Distance d'approvisionnement de l'émulsion | 15 km | 40 km | 100 km |
| Transport des matériaux de la centrale au chantier | 15 km | 30 km | 50 km |

Tableau 19 : Distances d'entretien prises en compte pour l'élaboration des facteurs d'émission

(Source : Cerema, mai 2020)

Au vu du contexte géographique de la zone d'étude, les facteurs d'émissions en lien avec la distance pour l'entretien de la chaussée ont été estimés comme « moyen » pour le projet de contournement de Tilloy-lès-Mofflaines.

6.6.2 Données d'entrées

Dans le cadre du projet, la durée de service de la chaussée est dimensionnée à 30 ans.
Le scénario d'entretien prévu pour un dimensionnement de chaussée à 30 ans est présenté dans le tableau ci-après :

| Date des cycles d'entretien | Scénario A – dim 30 ans – durée de service 50 ans | Scénario B – Dim 20 ans – durée de service estimé 35 ans |
|-----------------------------|--|--|
| 13 ans | Fraisage de 6cm puis BBSG en 6 cm | Fraisage de 6cm puis BBSG en 6 cm + 4% de purges en 15 cm GB |
| 26 ans | Fraisage de 8cm puis BBSG en 8 cm + 4% de purges en 15 cm GB | Fraisage de 8cm puis BBSG en 8 cm + 6% de purges en 15 cm GB |
| 39 ans | Fraisage de 10cm puis 6cm et 4cm de BBM + 6% de purges en 15 cm GB | Reconstruction et reproduction des séquences d'entretien à l'identique |
| 50 ans | Fin de vie | |

6.6.3 Résultats

| Description | Unité | Distance | | Facteur d'émissions (kgeq CO ₂ par unité de mesure) | Quantité | Total (teq CO ₂) |
|--|----------------|--------------------------|-------|--|----------|------------------------------|
| Cas d'un dimensionnement à 30 ans – Scénario A | m ² | Proche / Moyen / Eloigné | Moyen | 23,2 | 1 | 0,023 |
| Total | | | | | | 0.023 |

Tableau 20 : Emissions de GES engendrées par l'entretien de la chaussée sur une période de 30 ans(enrobé)

Sur 30 ans, il est considéré qu'un entretien de la chaussée (enrobé) du contournement sera nécessaire. Cet entretien va générer 0,023 teqCO₂.

6.7 Equipements de sécurité

6.7.1 Méthodologie

Seules les glissières seront prises en compte dans le cadre de cette étude.

Les facteurs d'émissions dépendent des types de glissières mises en place. Ils intègrent :

- La production des matériaux (acier galvanisé, béton armé...),
- Le transport des matériaux jusqu'au chantier (500 km pour l'acier, 50 km pour le béton),
- L'utilisation des engins pour la déconstruction,
- La déconstruction et l'évacuation des glissières en fin de vie.

Ces facteurs d'émissions s'appliquent à l'ensemble des glissières mises en œuvre dans le cadre du projet.

Les facteurs d'émission associée sont présentés dans le Tableau 21.

| Description | Unité | Facteur d'émission (kg eq CO2 par unité de mesure) |
|---|-------|--|
| File de glissières simples (acier ou béton) | m | 115 |
| File de glissières doubles (acier ou béton) | m | 145 |

Tableau 21 : FE pour les équipements de sécurité

(Source : Cerema, mai 2020)

Ces facteurs correspondent à des valeurs moyennes au mètre de glissières, indépendamment de leur composition (métal, béton).

6.7.2 Données d'entrée

Aucun équipement de sécurité n'est prévu à ce jour sur le tracé du contournement.

Seuls les deux ouvrages d'arts créés pour rétablir la rue de Neuville et la RD 37E1 seront équipés de glissières de sécurités au niveau des rampes d'accès de part et d'autre de l'OA.

- Longueur d'un ouvrage d'art : 14 m.

6.7.3 Résultats

| Description | Unité | Facteur d'émissions (kgeq CO2 par unité de mesure) | Quantité | Total (teq CO2) |
|---|-------|--|--------------|-----------------|
| File de glissières simples (acier ou béton) | m | 115 | 28 | 3,22 |
| | | | Total | 3 |

Tableau 22 : Emissions de GES engendrées par l'exploitation du réseau

Ainsi la mise en place de glissières de sécurité sur les deux ouvrages d'arts du projet va générer 3 t CO2e.

6.8 Exploitation du réseau

6.8.1 Méthodologie

Pour l'exploitation du réseau routier, les facteurs d'émission intègrent :

- Les consommations d'énergie des bâtiments et des équipements de la route,
- Les déplacements professionnels liés aux activités d'entretien et d'exploitation du réseau routier,
- La fabrication et le transport de produits nécessaires au fonctionnement à l'entretien et à l'exploitation : sel, signalisation horizontale et verticale, renouvellement des glissières de sécurité...,
- Les déplacements domicile-travail,
- L'immobilisation de matériels ou de bâtiments.

Les facteurs d'émission pris en compte dans l'étude sont :

| Description | Unité | Facteur d'émission (kg eq CO2 par unité de mesure) |
|---|---------------|--|
| Exploitation du réseau routier national (hors enrobé) | Km de voie/an | 2970 |
| Dont entretien annuel des glissières | Km de voie/an | 460 |

Tableau 23 : Facteurs d'émissions pris en compte pour l'entretien (Source : Cerema, mai 2020)

6.8.2 Données d'entrée

La donnée d'entrée considérée pour l'entretien du réseau routier correspond uniquement l'entretien réalisé sur la totalité du linéaire du contournement soit 2,77 km (aucune glissière au niveau du linéaire du projet).

Les facteurs d'émission sont ramenés au linéaire de section courante exploitée. Elle intègre donc l'exploitation des voies annexes et bretelles.

6.8.3 Résultats

En estimant qu'un entretien annuel est nécessaire, celui-ci génèrera une émission de 8 t CO₂e par an.

| Description | Unité | Facteur d'émissions (kgeq CO ₂ par unité de mesure) | Quantité | Total (teq CO ₂) |
|---|---------------|--|----------|------------------------------|
| Exploitation du réseau routier national (hors enrobé) | km de voie/an | 2970 | 2.77 | 8.2269 |
| Total | | | | 8 |

Tableau 24 : Emissions de GES causées par l'exploitation du réseau sur une année

Sur 30 ans, l'exploitation de l'infrastructure (entretien courant) va générer 247 t CO₂e.

6.9 Synthèse globale

À la fin de la période d'évaluation de 30 ans, le projet émet **166 574 t CO₂e** au total (tout poste confondu).

Le tableau ci-après représente la part que représente chaque poste dans les émissions de GES totale du projet.

| Postes | Emissions GES (teqCO ₂) sur 30 ans | Poids |
|---------------------------|--|-------------|
| Trafic | 163749 | 98% |
| Artificialisation | 737 | 0,4% |
| Terrassements | 287 | 0,2% |
| Chaussées | 1551 | 1% |
| Equipements sécurité | 3 | 0,002% |
| Exploitation et entretien | 247 | 0,1% |
| Total | 166 574 | 100% |

Tableau 25 : Synthèses des émissions totales de GES générées par le projet

Les trafics générés sur le contournement routier représentent la part la plus importante des émissions (98%). Ces émissions ne sont pas directement attribuables à l'infrastructure. Cependant elles ont été estimées afin de pouvoir les comparer avec les émissions du scénario de référence afin de mesurer l'impact du projet.

L'entretien et l'exploitation du réseau routier représente 0,1% des émissions du projet. Ainsi la phase d'exploitation du projet est celle qui génère le plus d'émissions de GES.

L'artificialisation des sols ainsi que la mise en place de la chaussée représente les autres parts importantes d'émissions du projet avec respectivement 0,4 % et 1% du poids total des émissions du projet. Cet impact est direct est temporaire et ne survient qu'au moment du chantier. De plus celle-

ci est minime comparée aux émissions générées par les trafics routiers sur le contournement en phase exploitation.

Malgré la fluidification de la circulation routière et l'augmentation de vitesse de circulation à 80 km/h, le projet va générer une augmentation des émissions de GES. En effet, 166 574 t CO₂e seront émis sur 30 ans par les trafics générés sur le contournement. Cette émission est causée par le report d'une partie du trafic de la RD60 et de la RD939 sur le contournement ainsi que l'interdiction du trafic de transit de PL dans la traversée de Tilloy-lès-Mofflaines ce qui a pour effet d'augmenter le trafic sur le contournement.

Cependant l'impact du trafic est à nuancer car elle ne prend pas en compte les améliorations de performances des motorisations en perspectives dans les années futures (parc automobile avec davantage de véhicules électriques...).

Des démarches et axe de réduction de ces émissions sont possibles à différentes étapes de la réalisation du projet. Celle-ci sont présentées dans le chapitre ci-après.

6.10 Mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre

À l'issue du bilan des émissions de GES effectué pour les différentes phases du cycle de vie de l'infrastructure, les éléments les plus émetteurs du projet ont été identifiés et retenus.

L'objet de ce paragraphe vise désormais à proposer des mesures de réduction de l'impact du projet sur les émissions de GES.

La maîtrise de l'empreinte carbone est une démarche d'amélioration continue qui doit être menée tout le long des étapes du projet. Ainsi, il est important que la démarche de réduction de l'empreinte carbone soit mise en place dès les premières phases de conception. L'intégration du critère carbone en amont des choix dimensionnant permet d'identifier et d'exploiter les alternatives à impact réduit.

Les mesures de réduction des émissions GES suivent deux axes principaux. Le premier consiste à privilégier les matériaux à contenu carbone bas. En effet, du fait de leur énergie grise, les intrants sont souvent le poste GES majoritaire des projets d'infrastructures. Ainsi, les matériaux constituent le principal levier de réduction des émissions GES. Le recours à des matériaux recyclés et alternatifs permettent de réduire de façon substantielle l'impact du projet. De plus, privilégier l'approvisionnement local des fournitures diminue la quantité de fret nécessaire et donc l'empreinte carbone globale.

Le second axe consiste à revaloriser et réutiliser les déchets produits par le projet. En effet, une partie importante des déchets des travaux de construction et maintenance des infrastructures peuvent être revalorisés sur site. Tel est le cas des gravats de démolition réutilisables dans les fondations mais aussi des matériaux recyclables triés et envoyés vers les filières correspondantes. En plus de la quantité des déchets à traiter, le fret d'évacuation est aussi réduit améliorant, ainsi le bilan GES de l'opération.

6.10.1 Matériaux à contenu carbone réduit

Dans cette section sont abordées les mesures de réduction correspondant à l'utilisation des matériaux bas carbone dans les différents postes.

Par exemple, concernant les travaux de chaussée, les enrobés bitume est le matériau le plus utilisé. Pour réduire son empreinte carbone, l'utilisation de béton bitumineux incorporant des taux de recyclage est préconisée. Sur la base des retours d'expérience, le taux de recyclage des enrobés commercialisés peut atteindre 30%.

En plus de privilégier les matériaux bas-carbone, la démarche d'approvisionnement devra privilégier les fournitures auprès des entreprises locales afin de réduire les émissions du fret de livraison.

Cette mesure permettrait de réduire la part la plus importante des émissions totales du projet (réalisation de la chaussée).

6.10.2 Revalorisation sur site

Concernant les travaux de terrassement, ils produisent un total de 81 028 tonnes de déblais en phase construction. Ces déblais pourraient être réutilisés, dans la mesure du possible, en tant que remblais pour les couches de forme des nouvelles voiries et ainsi réduire le besoin de matériaux d'apport. La mesure préconisée pour revaloriser ces déchets consiste à les incorporer dans les couches de fondation après traitement de stabilisation.

L'application de cette mesure permettrait de réduire :

- Les émissions liées aux opérations de mise en dépôt et de fonctionnement des ISDI,
- Les émissions issues de la production des granulats,
- Le fret d'évacuation des déchets et d'apport des matériaux. Cependant, une part de ce fret est conservée car attribuée au transport interne pour le stockage provisoire sur place.

7 CONCLUSION

Le bilan global initial des émissions de GES du projet est évalué à **166 574 t CO2e** sur 30 ans.

Une première démarche de réduction a permis d'identifier des postes sur lesquels il est possible de faire des économies carbone :

- Matériaux bas-carbone,
- Valorisation des déchets sur site.

Afin d'assurer au projet une empreinte carbone réduite, il est primordial que les DCE et les études à venir soient rédigés en ce sens. Des objectifs carbone doivent être précisés avec la mise en place de pénalités s'ils ne sont pas atteints. La réponse des entreprises travaux au marché doit être assortie d'une première estimation des émissions de GES avec des pistes de réduction.

En phase de travaux, les entreprises doivent réaliser un suivi de leurs émissions au cours du chantier et évaluer leurs propositions de travaux sous l'angle de la comptabilité carbone avant mise en œuvre. En plus de l'attention portée au contenu carbone des matériaux, ce suivi devra tenir compte des consommations d'énergie, du fret constaté dans les bons de livraison, des déchets produits et des déplacements du personnel.