



# ***PIÈCE B.10***

***ANNEXE 01 : BILAN DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES)***

# SOMMAIRE

<b>I. LISTE DES ABRÉVIATIONS</b>	<b>4</b>
<b>II. ÉLÉMENTS DE LANGAGE ET DÉFINITIONS</b>	<b>5</b>
<b>III. INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
III.1. L'évaluation carbone	6
III.2. Les principes de l'évaluation	6
III.3. Objectifs de l'évaluation	6
III.4. Outil utilisé pour l'évaluation	6
<b>IV. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION</b>	<b>7</b>
IV.1. Principe de calcul	7
IV.2. Les données d'activité	7
IV.3. Les facteurs d'émissions	7
IV.4. Les axes structurants de l'évaluation	7
IV.4.1. Le cycle de vie de l'infrastructure	7
IV.4.2. Les corps de métier	7
IV.4.3. Les postes d'émissions	8
IV.5. Émissions du matériel roulant	8
IV.6. Émissions véhiculaires	8
IV.7. Périmètre d'évaluation	8
IV.8. Période d'évaluation	9
IV.9. Frontières de l'évaluation	9
<b>V. DONNÉES D'ENTRÉE</b>	<b>10</b>
V.1. Le détail quantitatif estimatif	10
V.2. Les plans du projet	11
V.3. Les équipements techniques	11
V.4. Le matériel roulant	12
V.5. Les ateliers de construction	12
V.6. Le fret	12
V.7. Déplacements domicile / travail	13
V.8. Les immobilisations	13
<b>VI. BILAN GES DES INFRASTRUCTURES</b>	<b>13</b>
VI.1. Bilan global	13
VI.1.1. Phase construction (A1-A5)	14
VI.1.2. Phase maintenance (B2-B5)	14
VI.1.3. Phase exploitation	15
VI.2. Bilan par poste d'émission	15
VI.2.1. L'énergie	15
VI.2.2. Les intrants	15
VI.2.3. Les déchets	16
VI.2.4. Le fret	16
VI.2.5. Les déplacements	17
VI.2.6. Les immobilisations	17
<b>VII. BILAN GES DU MATÉRIEL ROULANT</b>	<b>17</b>
VII.1. Bilan des émissions du matériel roulant	17
VII.1.1. Production	17
VII.1.2. Exploitation	18
VII.1.3. Maintenance	18
VII.1.4. Fin de vie	18
VII.2. Comparaison des émissions par mode	18
<b>VIII. BILAN GES DU REPORT MODAL</b>	<b>19</b>
VIII.1. émissions évitées TC	19
VIII.2. Émissions évitées VP	19
VIII.3. Émissions évitées totales	20
<b>IX. ANALYSE ET MESURES DE RÉDUCTION</b>	<b>20</b>
IX.1. Analyse des émissions majoritaires	20
IX.2. Démarche et axes de réduction	20
IX.2.1. Matériaux à contenu carbone réduit	20
IX.2.2. Revalorisation en filière	21
IX.2.3. Revalorisation sur site	22
<b>X. CONCLUSION</b>	<b>23</b>
<b>XI. ANNEXES</b>	<b>24</b>
XI.1. Annexe 1 : Inventaire du cycle de vie du matériel roulant	24
XI.2. Annexe 2 : Facteurs d'émissions du matériel roulant	25
XI.3. Annexe 3 : Engins de chantier	26
XI.4. Annexe 4 : Ateliers de construction	27
XI.5. Annexe 5 : Métrés des intrants	28
XI.6. Annexe 6 : Base de données FE	32

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Logo certification de la conformité à la méthode Bilan Carbone®	6
Figure 2 : Principe de calcul des émissions GES d'un projet d'infrastructure	7
Figure 3 : Représentation des émissions indirectes et directes produites par l'utilisation des véhicules	8
Figure 4 : Localisation du projet et tracé de la ligne de BHNS	8
Figure 5 : Extrait du plan du BHNS au niveau de la rue André Chénier	11
Figure 6 : Véhicule de référence pour le parc roulant du projet : lightTram@19	12
Figure 7 : Émissions GES globales du projet par poste émetteur (hors usagers)	13
Figure 8 : Émissions GES totales par phase du cycle de vie	14
Figure 9 : Décomposition des émissions GES en phase construction par corps de métier et par poste d'émission	14
Figure 10 - Décomposition des émissions GES correspondantes à la phase de maintenance	14
Figure 11 : Répartition des émissions GES correspondant à la consommation des équipements techniques	15
Figure 12 : Consommation de carburant et d'électricité des engins et des installations de chantier	15
Figure 13 : Répartition des flux de masse et du contenu carbone par type de matériau en phase construction	15
Figure 14 : Répartition des flux de masse et du contenu carbone par type de matériau en phase maintenance	16
Figure 15 : Répartition des flux de masse et des émissions de traitement par déchet pour la phase construction	16
Figure 16 : Répartition des flux de masse et des émissions de traitement par déchet pour la phase maintenance	16
Figure 17 : Décomposition du fret routier en fret intrant, sortant et interne en phase construction	16
Figure 18 : Répartition des émissions liées aux déplacements du personnel par phase du projet	17
Figure 19 : Répartition des émissions de GES des immobilisations en phase construction	17
Figure 20 : Émissions GES par phase du cycle de vie par véhicule lightTram@19	17
Figure 21 : Émissions GES liées à la fabrication des lightTram@19, par composant	18
Figure 22 : Émissions GES liées à la maintenance des lightTram@19, par composant	18
Figure 23 : Comparaison des facteurs d'émissions du transport de passager	19
Figure 24 : Comparaison des déplacements TC et des émissions entre le scénario de référence et projet	19
Figure 25 : Évolution des kilomètres VP évités par motorisation à l'horizon 2040	20
Figure 26 : Récapitulatif des déplacements et émissions évités à l'horizon 2040	20
Figure 27 : Variation des émissions GES du bilan initial en appliquant les mesures de réduction (émissions directes et réduites)	23

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Phases du cycle de vie d'un projet d'infrastructure basées sur la EN 15978	7
Tableau 2 : Extrait du détail estimatif des travaux du projet BHNS Lyon	10
Tableau 3 : Éléments abordés dans l'évaluation GES, unités fonctionnelles et hypothèses de durée de vie	10
Tableau 4 : Puissance des équipements électriques et leur consommation journalière	11
Tableau 5 : Caractéristiques principales des véhicules et du parc roulant	12
Tableau 6 : Hypothèses pour les distances de fret d'évacuation/approvisionnement	12
Tableau 7 : Modes et lignes de transport en commun retenues pour l'estimation des émissions évitées	19
Tableau 8 : Différence des déplacements TC (hors BHNS) et écarts relatifs	19
Tableau 9 : Kilométrage VP évité aux horizons 2030 et 2040 et hypothèse d'augmentation annuelle du trafic	19
Tableau 10 : Récapitulatif des corps de métier, de la quantité et du contenu carbone des matériaux analysés	21
Tableau 11 : Détails de calcul des mesures de réduction préconisées concernant les matériaux	21
Tableau 12 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des déchets	22
Tableau 13 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des gravats de démolition sur site	23
Tableau 14 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des déblais sur site	23

## IDENTIFICATION DU DOCUMENT SOURCE

### IDENTIFICATION DU DOCUMENT

<b>Projet</b>	ICC5334	MOEG Création d'une ligne de BHNS entre Part-Dieu et Sept Chemins
<b>Repère</b>	CP000	Axe fort - Ensemble de la ligne BHNS Part-Dieu
<b>Domaine</b>	10	Synthèse
<b>Sujet</b>	B	Etude d'Avant-Projet
<b>Émetteur</b>	IG	INGEROP, SYSTRA, FOLIA, D. GARDRAT, CITEC, SZ, PRST
<b>Type</b>	NONT	Note technique
<b>N° d'ordre</b>	00164	
<b>Indice</b>	B	Diffusion MOA

Projet	Repère	Domaine	Sujet	Emetteur	Type	Numéro	Indice
ICC5334	CP000	10	B	IG	NONT	00164	B

## I. LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviation	Désignation
ACV	Analyse de cycle de vie
ADEME	Agence de la transition écologique (anciennement Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)
AE	Activité Environnementale
AME	Scénario "Avec mesures existantes"
CAS	Changement d'affectation du sol
CO <sub>2</sub> e	Dioxyde de carbone équivalent
DCE	Dossier de consultation des entreprises
DQE	Détail quantitatif estimatif
EEA	European Environment Agency
FDES	Fiche de déclaration environnementale et sanitaire
FE	Facteur d'émission
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ICV	Inventaire du cycle de vie
INIES	Base de données de référence des déclarations environnementales et sanitaires des produits, équipements et services du bâtiment vendus en France
ISDI	Installation de stockage de déchets inertes
MR	Matériel roulant
PL	Poids lourds (PTAC > 3,5 tonnes)
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
TC	Transports en commun
UTCF	Utilisation des terres, leur changement et la forêt
VL	Véhicule léger
VP	Véhicule particulier

## II. ÉLÉMENTS DE LANGAGE ET DÉFINITIONS

Terminologie	Définition
<b>Acteurs du projet</b>	Ensemble des personnes physiques ou morales responsables de la conception, réalisation et exploitation d'un projet d'infrastructure. Parmi ces acteurs, on identifie : MOA, MOE, équipes de conception, équipes méthodes et études de prix, équipes d'études socio-économiques, entreprises d'exécution, fournisseurs et autres.
<b>Bas carbone</b>	Matériaux ou techniques permettant de diminuer l'empreinte carbone en comparaison des solutions dites conventionnelles.
<b>Climat</b>	Conditions météorologiques sur un temps long propres à une région déterminée. Mesurées en termes de précipitations moyennes et températures de saison.
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Équivalent CO <sub>2</sub> e, permettant de ramener le potentiel de réchauffement global (PRG) des GES à l'unité commune (PRG du dioxyde de carbone)
<b>Contenu carbone</b>	Émissions de GES associées à la consommation d'énergie et les processus chimiques nécessaires à l'extraction, le transport et la fabrication des matériaux de construction et autres produits.
<b>Cycle de vie</b>	Ensemble des phases du projet en commençant par la conception de l'infrastructure, sa construction, son fonctionnement et sa fin de vie.
<b>Élément fonctionnel</b>	Sous-ensembles ou composants qui constituent une infrastructure et qui assurent son fonctionnement (p.ex. une pile de pont, la signalisation verticale, la couche de surface)
<b>Émissions GES</b>	Raccourci pour désigner les émissions de la famille des gaz à effet de serre, définis par le protocole de Kyoto et qui contribuent au changement climatique.
<b>Émissions directes</b>	Émissions prenant place au lieu même où l'activité se réalise (combustion, réactions chimiques des processus industriels, etc.)
<b>Émissions indirectes</b>	Émissions induites par la consommation des ressources ou le traitement des déchets dont l'infrastructure a besoin pour fonctionner mais qui prennent place à l'extérieur du périmètre de l'activité. La production d'énergie ou le contenu carbone représentent des émissions GES indirectes.
<b>Émissions réduites</b>	Lorsqu'il s'agit d'une diminution des émissions directement attribuées au projet d'infrastructure évaluée, la méthodologie d'évaluation permet de soustraire directement les émissions réduites du bilan GES initial
<b>Émissions évitées</b>	Une diminution des émissions GES des usagers rendue possible grâce au projet. Ces émissions ne peuvent pas être retirées du bilan GES mais peuvent justifier l'intérêt d'un projet d'infrastructure du fait de sa capacité à éviter des nouvelles émissions GES.
<b>Émissions véhiculaires</b>	Émissions GES produites par l'utilisation des véhicules. Elles regroupent les émissions de combustion (directes) ainsi que celles liées à la production des carburants et à la fabrication des véhicules (indirectes).
<b>Facteur d'émission</b>	Ratio de émissions des GES par unité d'activité (consommation de ressource, services rendus, fonctionnement, etc.)
<b>Gaz-à-effet de serre</b>	Composant gazeux qui absorbe le rayonnement infrarouge (potentiel de réchauffement global)
<b>Incertitudes</b>	Représentées par un pourcentage de variabilité des émissions, issues de l'agrégation des incertitudes inhérentes aux facteurs d'émission et des estimations des quantités de ressources consommées et des déchets produits.
<b>Inventaire du cycle de vie</b>	Récapitulatif exhaustif des activités et des flux de matière et d'énergie les plus pertinents qui sont nécessaires sur l'ensemble du cycle de vie (de la construction jusqu'à la fin de vie).
<b>Jouvence</b>	Notion assimilée au taux de remplacement qui découle de la durée de vie des éléments fonctionnels et de la période de l'évaluation GES.

Terminologie	Définition
<b>Neutralité carbone</b>	Équilibre entre les émissions GES nationales et l'absorption du carbone de l'atmosphère. Désigné aussi comme "zéro émissions nettes"
<b>Période d'évaluation</b>	Période considérée pour l'inventaire des sources d'émission GES du projet suivant une approche de cycle de vie.
<b>Phase du projet</b>	Séquence d'étapes nécessaires pour assurer la réalisation d'un projet en partant de l'analyse de sa faisabilité, sa conception et sa construction. Les phases d'un projet d'infrastructure sont : Études préliminaires, Avant-projet (sommaire et définitif), Études de projet, Consultation des entreprises, Études d'exécution, Phase chantier
<b>Poste d'émission</b>	Bien, service ou processus physique nécessaires au cycle de vie des infrastructures et qui sont source d'émissions GES directes ou indirectes.
<b>Situation fil d'eau</b>	Scénario désignant l'évolution la plus vraisemblable de la situation actuelle sans inclure le projet ni son impact.
<b>Scénario projet</b>	Scénario désignant l'évolution de la situation avec la mise en service du projet et qui inclut les changements induits par l'infrastructure.
<b>Scénario "avec mesures existantes"</b>	Un des scénarios de prospective de la SNBC pour l'évolution de la consommation énergétique et les gaz-à-effet de serre. Ce scénario prend en compte tous les mesures en matière de politique énergétique et GES mis en place jusqu'au 31 décembre 2022
<b>Stratégie nationale bas-carbone</b>	Feuille de route sectorielle pour la réduction des émissions GES en France visant la neutralité carbone en 2050
<b>Unité fonctionnel</b>	Caractérise les éléments fonctionnels suivant la fonction d'usage qu'ils accomplissent (p.ex. les m <sup>2</sup> de couche de surface caractérisant la capacité d'une route)

### III. 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 le 19,5% et le 19% des émissions globales de GES respectivement.

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.

#### III.1. L'évaluation carbone

Dans un contexte de lutte contre le changement climatique, les exigences environnementales concernant l'empreinte carbone des infrastructures de transport rendent impératives les démarches de maîtrise et suivi des émissions GES. En ce sens, le bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) permet d'évaluer la pression que les projets d'infrastructure exercent sur le climat à travers l'estimation du potentiel de réchauffement global (mesuré en t CO<sub>2</sub>e).

En effet, les projets d'infrastructure émettent des GES dans l'atmosphère de façon directe (combustion) ou indirecte à (consommation d'électricité, traitement des déchets). De plus, ces projets mènent vers des réductions ou des augmentations des émissions GES en comparaison à une situation sans projet. Ainsi, la comptabilité carbone intègre les émissions GES directes et indirectes du projet mais aussi l'impact de ce dernier sur les émissions des usagers en comparaison au fil d'eau.

L'évaluation carbone suit plusieurs méthodes et standards internationaux. Parmi les plus importants, la méthode **Bilan Carbone®** développée par l'ADEME qui permet d'effectuer la comptabilité des émissions GES liées à la consommation des ressources et à la production des déchets engendrées par les activités des organisations. Ensuite, le standard **EN 15978** qui définit chacune des phases du cycle de vie des infrastructures ce qui permet d'inventorier les sources de GES tout le long de la vie utile du projet.

#### III.2. Les principes de l'évaluation

Pour assurer la crédibilité et la reproductibilité de l'évaluation carbone, plusieurs principes guident la réalisation du bilan GES, parmi eux :

- Exhaustivité : il inclut toutes les informations dimensionnantes concernant les activités entraînées par le projet sur l'ensemble de son cycle de vie.
- Relevance : l'évaluation carbone est approfondie et des mesures de réduction sont proposées pour les activités responsables des émissions GES majorantes.
- Consistance : les calculs des émissions sont réalisés en utilisant les mêmes critères et hypothèses ce qui assure la comparabilité des résultats.
- Transparence : les données d'entrée (données d'activité du projet, facteurs d'émission) et hypothèses sont introduites et annexées dans le bilan GES et ses sources citées.

- Prudence : le calcul des émissions GES est prudent quant aux hypothèses et valeurs prises en compte dans l'évaluation en se basant sur les situations le plus vraisemblables.
- Précision : toute évaluation carbone est approximative c'est pourquoi elle inclut les incertitudes associées aux calculs des GES.

#### III.3. Objectifs de l'évaluation

Le maître d'ouvrage a souhaité réaliser un bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la création et de l'exploitation du BHNS de Lyon Part-Dieu – Sept Chemins.

L'objectif est d'évaluer l'empreinte carbone à travers un bilan GES afin de mieux appréhender les émissions engendrées par le projet. En effet, l'évaluation de l'empreinte carbone suivant une approche d'analyse de cycle de vie permet d'éclairer les réflexions sur l'équilibre et les conséquences du projet sur l'environnement.

De plus, cette évaluation contribue à rationaliser les décisions du projet en objectivant les émissions GES attribuables au projet. L'objectif étant de maîtriser son empreinte carbone, elle devra ensuite conduire à des actions concrètes en termes de programmation de réduction des gaz à effet de serre en phase de conception du projet.

L'objectif est aussi d'infléchir les comportements sur les bons ordres de grandeur en mettant en avant les postes d'émission les plus importants. La réalisation du bilan GES du projet a pour but de fournir aux acteurs et décideurs des éléments de sensibilisation et des pistes d'action afin de réduire la pression sur le climat.

De plus, l'évaluation GES permet de signifier l'impact du projet à l'ensemble des parties prenantes et de les engager dans la démarche de maîtrise et suivi de l'empreinte carbone. Lors des phases ultérieures, cette évaluation permettra de faire évoluer les éléments de conception pour contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction des GES sur lesquels les différentes parties prenantes se seront engagées.

Du point de vue réglementaire, le décret n°2017-725 du 3 mai 2017 stipule que les émissions de GES doivent être évaluées pour les projets publics car le niveau de soutien financier accordé à ces derniers « intègre, systématiquement et parmi d'autres critères, le critère de contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ». Il définit également les principes et modalités de calcul des émissions GES : l'approche du cycle vie de l'évaluation, le périmètre, les sources des données à exploiter, etc. Ainsi, le présent document apporte des éléments de réponse aux exigences de ce décret.

#### III.4. Outil utilisé pour l'évaluation

Le Bilan GES est réalisé avec l'outil *InfraCost* développé par Ingérop sur la base de la méthodologie de l'ADEME : Bilan Carbone® Version 8.5. Cet outil permet de décomposer les différentes sources d'émission d'un projet par catégorie suivant une logique de cycle vie. L'outil s'appuie sur des facteurs d'émission issus des différentes bases de données qui renseignent le taux d'émission de GES lors de la fabrication des fournitures, leur mise en œuvre, le fret, les déplacements, etc.

Afin d'assurer la crédibilité et la reproductibilité de l'évaluation carbone, *InfraCost* respecte les six principes qui guident la réalisation des bilans GES : exhaustivité, pertinence, consistance, transparence, prudence et précision.

Figure 1 : Logo certification de la conformité à la méthode Bilan Carbone®



## IV. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION

### IV.1. Principe de calcul

Le principe de calcul utilisé est basé sur une méthode d'estimation indirecte des GES engendrés par les activités évaluées (pas de mesure directe). En effet, les activités (quantifiées suivant l'unité choisie) combinée à leurs facteurs d'émission (kg CO<sub>2</sub>e/unité) permettent d'estimer les GES émis. Le principe de calcul est montré dans la **Figure 2**.

**Figure 2 : Principe de calcul des émissions GES d'un projet d'infrastructure**



### IV.2. Les données d'activité

Les données d'activité comprennent l'ensemble des consommations de ressources telles que les matériaux, l'énergie, mais aussi la production de déchets. Ces informations sont établies à partir des estimations, projections et relevés des activités menées dans le périmètre spatio-temporel défini pour l'évaluation environnementale de l'infrastructure.

Ces données sont issues des informations contenues dans les plans du projet, les détails quantitatifs estimatifs, la consommation énergétique des équipements ainsi que d'autres informations et hypothèses renseignées par les équipes de conception.

### IV.3. Les facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions, ils attribuent un ratio d'émissions GES par unité d'activité. Le calcul des facteurs d'émissions sont réalisés suivant deux approches :

- l'analyse du cycle de vie, consistant à retracer l'ensemble des émissions produites (kg CO<sub>2</sub>e/U) lors de l'extraction des matières premières, la fabrication et le transport des produits utilisés pour la réalisation et fonctionnement de l'infrastructure ;
- l'approche macroéconomique, où les émissions sont calculées sur la base des matrices économiques interconnectant les différents secteurs d'activité (kg CO<sub>2</sub>e/€<sub>VA</sub> issus du *Bilan Carbone*® organisation).

Ils sont majoritairement issus de la base ADEME mais peuvent également être complétés par des bases externes lorsque les informations manquent (Base *INIES*, *DIOGENE*, *Ecoinvent* ou directement les *FDES* des fournisseurs). Les FE employés dans cette évaluation sont présentés dans l'**Annexe 6**.

Dans le cas où une activité en particulier n'est pas répertoriée dans les bases de données, un FE est construit en utilisant les FE des constituants principaux (p. ex. pour la fourniture d'une armoire en acier, il est considéré le poids de l'armoire et le FE de l'acier). La construction des FE peut aussi mener vers une analyse de cycle de vie lorsque l'activité associée est majorante.

### IV.4. Les axes structurants de l'évaluation

En plus de la méthode de calcul *Bilan Carbone*®, l'évaluation des GES suit une approche ascendante (*bottom-up*), inspirée de l'analyse du cycle de vie (ACV). En effet, il s'agit d'un exercice d'exhaustivité visant à modéliser de la façon la plus représentative possible l'ensemble de flux de matière et d'énergie induits par les activités qui prennent place dans le périmètre d'évaluation de l'infrastructure.

La modélisation des flux engendrés par une activité prend la forme d'un inventaire de cycle de vie qui récapitule l'ensemble des consommations et des sous-produits générés. Ces inventaires sont structurés suivant trois axes principaux : le cycle de vie de l'infrastructure, les éléments fonctionnels (résultats des travaux) et les postes d'émissions.

#### IV.4.1. Le cycle de vie de l'infrastructure

Les phases du cycle de vie considérés dans l'évaluation GES du projet sont :

- la production des intrants (A1-A3), ou « contenu carbone »
- la mise en œuvre des intrants (A4-A5), ce qui inclut l'énergie consommée lors des travaux, le fret des matériaux ainsi que les déchets engendrés.
- le fonctionnement comprenant :
  - l'utilisation (B1), correspondant au différentiel des émissions des usagers de l'infrastructure par rapport au scénario de référence, en tenant compte de l'évolution de la demande induite et des conditions de service modifiées par l'infrastructure.
  - la maintenance (B2-B5), comportant les opérations de maintenance régulière et les travaux de rénovation selon la durée de vie des éléments fonctionnels du projet.
  - l'exploitation (B6), englobant l'énergie consommée par les équipements permettant l'exploitation des équipements de l'infrastructure.
- la fin de vie (C1-C4), comprenant les travaux de démolition totale ou partielle, le dégagement des emprises et la remise en état des emprises de l'infrastructure.

L'analyse suivant l'approche du cycle de vie est aussi appliquée à l'évaluation de l'empreinte carbone du matériel roulant. Pour ce dernier, la construction et la mise en œuvre sont remplacés par la fabrication et l'assemblage (voir **Tableau 1**)

**Tableau 1 : Phases du cycle de vie d'un projet d'infrastructure basées sur la EN 15978.**

Les phases retenues dans l'évaluation sont marquées en gras.

CYCLE DE VIE D'UN PROJET D'INFRASTRUCTURE													
Production			Construction		Fonctionnement					Fin de vie			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
Matières premières	Transport vers l'usine	Manufacture	Transport au chantier	Mise en œuvre	Utilisation	Maintenance	Réparations	Remplacement	Rénovation	Démolition	Transport vers filière	Traitement	Élimination
					<b>B6</b>	<b>Consommation d'énergie</b>							
					B7	Consommation d'eau							
					B8	Autres consommations							

#### IV.4.2. Les corps de métier

Afin de faciliter l'évaluation de l'empreinte carbone, la préconisation des mesures de réduction et le suivi des émissions GES du projet étudié, l'évaluation carbone est aussi structurée autour de la nature des travaux réalisés par corp de métier.

En effet, chaque corps de métier assure la mise en œuvre des éléments constituant l'infrastructure. Par exemple, la signalisation routière est constituée de plusieurs éléments tels que le marquage au sol, les panneaux de signalisation statique et dynamique. Chacun de ces éléments requièrent des travaux pour être mis en place et entretenus ainsi que de l'énergie pour être exploités (électricité dans le cas de la SLT et les PMV par exemple).

De plus, chaque élément a une durée de vie déterminée après laquelle il doit être rénové ou refait. Ainsi, à chaque élément fonctionnel lui est associée une jouvence, c'est-à-dire, un chiffre correspondant au nombre de fois que cet élément est remplacé dans la période étudiée (p. ex. le marquage au sol dont la durée de vie est de 10 ans, pour une période évaluation de 30 ans la jouvence attribuée est de 3).



## IV.8. Période d'évaluation

La période d'évaluation correspond à la temporalité retenue pour la modélisation des flux d'énergie et matière engendrés par le cycle de vie de l'infrastructure. Elle définit la durée de la phase de fonctionnement du projet ainsi que le nombre d'interventions des travaux de maintenance récurrents (réfection des voiries, remplacement des équipements, etc.)

Pour cette étude, il a été décidé de prendre en compte une période d'évaluation de 15 ans. Elle correspond à la période comprise entre la mise en service envisagée (2026) et l'horizon de prospective des études de transport (2040).

Pendant cette période d'évaluation, les émissions abordées sont celles induites par :

- la construction, l'exploitation et la maintenance des infrastructures.
- la fabrication, l'exploitation, la maintenance et la fin de vie du matériel roulant.

Il est à noter que la fin de vie des infrastructures n'est pas prise en compte car le projet n'a pas pour vocation d'être démantelé dans le scénario prospectif évalué.

Concernant les travaux de maintenance, leur fréquence dépend de la durée de vie moyenne des éléments fonctionnels (voir Tableau 3).

). L'affectation des travaux de maintenance suit afin de garder le même niveau de service. Cela implique qu'ils soient étalés proportionnellement sur toute la période d'évaluation. Ainsi, pour un élément fonctionnel dont la durée de vie est de 10 ans et pour une période d'évaluation de 15 ans, l'évaluation carbone considère les émissions GES engendrées par 1,5 travaux de renouvellement.

## IV.9. Frontières de l'évaluation

Les frontières du système modélisé par les inventaires du cycle de vie des éléments fonctionnels de l'infrastructure concernent :

- Le contenu carbone : l'évaluation GES part des facteurs d'émissions des matériaux prêts à l'emploi issus des bases de données ou transmis par les fabricants. Ainsi, l'évaluation n'a pas pour vocation de modéliser les émissions des processus industriels de fabrication.
- Le traitement des déchets : de façon analogue au contenu carbone, le système ne modélise pas les émissions engendrées par le traitement des déchets mais utilise directement les facteurs d'émission associés.
- Le recyclage des matériaux : il n'est pas modélisé dans le système à différence du emploi des matériaux sur site. Cependant, il intègre les facteurs d'émissions réduits des matériaux incorporant des taux de recyclage.
- Les employés : seuls leurs déplacements (trajets domicile-travail) sont intégrés dans le système, d'autres consommations engendrées ne sont pas prises en compte.
- Le fret : les émissions induites par l'impact sur la circulation du fret engendré par les travaux de construction et maintenance ne sont pas pris en compte. Seules les émissions GES des carburants et l'amortissement des véhicules de transport sont comptabilisés

## V. DONNÉES D'ENTRÉE

### V.1. Le détail quantitatif estimatif

À partir du détail quantitatif estimatif (**Tableau 2**) du projet il a été possible de modéliser les activités qui prennent place tout le long du cycle de vie du projet. Ce quantitatif a été réalisé à partir des estimations disponibles au stade AVP. Il est donc vraisemblable que ces quantités évoluent au fur et à mesure de l'avancement des études de conception.

Chacun des travaux renseignés dans le DQE a fait l'objet d'une décomposition afin de constituer les inventaires de cycle de vie. Ceux-ci permettent d'établir les flux de matériaux et d'énergie et de les associer aux FE des bases de données exploitées, notamment lorsqu'il s'agit des travaux impliquant différentes activités (p.ex. le bétonnage d'une pile : surface de coffrage en m<sup>2</sup>, quantité de béton mis en place en m<sup>3</sup> puis converti en tonnes pour le calcul du fret).

De même, les travaux chiffrés au forfait sont aussi décomposés à partir des informations renseignées par les équipes techniques concernées. L'ensemble d'éléments fonctionnels qui constituent le projet est présenté dans le Tableau 3 et les détails des métrés dans l'Annexe 5.

Tableau 2 : Extrait du détail estimatif des travaux du projet BHNS Lyon

Index	Définition des prix
<b>IV</b>	Système
<b>V</b>	Déviations de réseaux
<b>V.1</b>	Réseaux AEP
<b>V.2</b>	Assainissement
<b>V.3</b>	Divers
<b>VI</b>	travaux Préparatoires
<b>VII</b>	Ouvrages
<b>X</b>	Revêtement du site propre
<b>XI</b>	Voirie et espaces publics
<b>XII</b>	Equipements urbains
<b>XII.1</b>	Eclairage public
<b>XII.2</b>	Espaces verts
<b>XII.3</b>	Mobilier urbain
<b>XII.4</b>	Videosurveillance
<b>XIV</b>	Stations
<b>XV</b>	Installations nécessaires à l'alimentation en énergie de traction
<b>XV.1</b>	Ligne Aérienne de Contact (LAC)
<b>XV.2</b>	Energie traction + BT (CFO)
<b>XV.3</b>	Bâtiment Sous-Station
<b>XVI</b>	Courants faibles et PCC
<b>XIX</b>	Opérations induites
<b>XIX.1</b>	Opérations induites AEP
<b>XIX.2</b>	Opérations induites ASS

Tableau 3 : Éléments abordés dans l'évaluation GES, unités fonctionnelles et hypothèses de durée de vie

C : Construction, M : Maintenance, E : Exploitation

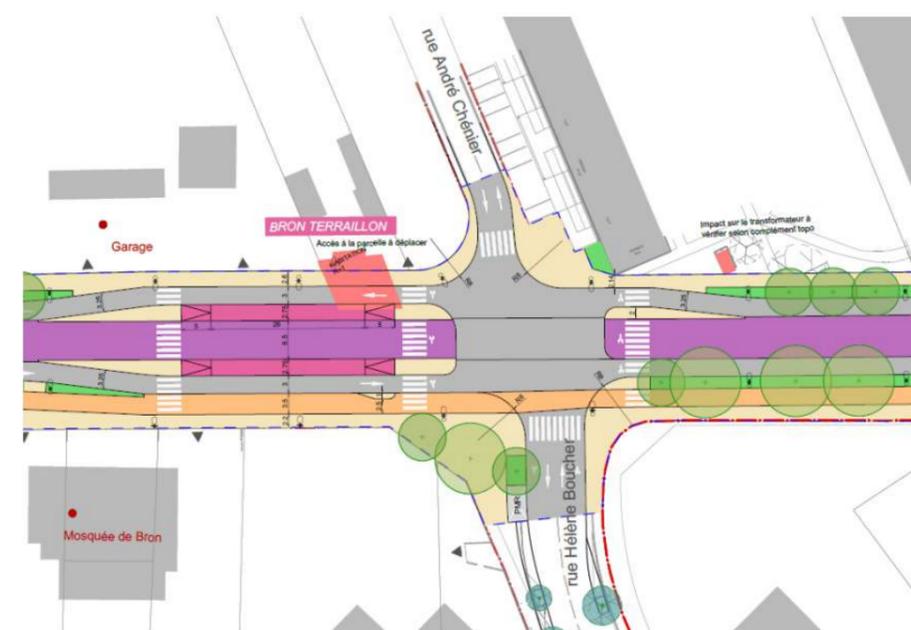
Métier	E.F.	Intitulé	Unité	Qté (UF)	Durée de vie	
<b>Alimentation électrique</b>	Lignes aériennes	Caténaire (LAC et feeder)	ml	5 320	20	C; M
	Sous-stations	Équipements sous-stations	ens	2,00	30	C; M; E
	Supports et poutres	Ancrages sur façades		u	159	20
Armements et isolateurs			u	337	50	C; M
Poteaux et massifs			u	338	50	C; M
<b>Aménagements paysagers</b>	Espaces verts	Épandage terre végétale	m2	17 760	0	C
		Plantation et entretien	m2	17 760	0	C; M
<b>Bâtiments et annexes</b>	Locaux techniques	Bâtiments, sous-station	m2	280	50	C; M; E
<b>Chaussées et voiries</b>	Chaussée en béton	Dalle béton BC3	m2	3 278	50	C; M
		Dalle béton BC5	m2	12 834	50	C; M
	Couche d'assise	Couche d'assise en GB	m2	88 238	30	C; M
	Couche de surface	Couche de roulement	m2	78 690	10	C; M
	Parking et annexes	Stationnement BBSG	m2	3 373	10	C; M
	Plateforme support	Couche de forme non traitée	m3	58 077	100	C
	Voies douces	Revêtements perméables		m2	61 579	20
Voiries en dalles granit			m2	3 823	50	C; M
<b>Équipements</b>	Éclairage	Éclairage public	u	841	20	C; M
		Équipements d'exploitation	Affichage information voyageur	u	34	20
	Dispositifs vidéosurveillance		u	35	10	C; M; E
	Équipements divers		k€	463	20	C; M; E
	Poste d'appel		u	18	10	C; M; E
	Mobilier urbain	Mobilier des stations BHNS	ens	32	20	C; M; E
		Mobilier espace urbain	m2	11 600	20	C; M
Tri sélectif		u	20	50	C; M	
<b>Études</b>	Études d'ingénierie	Montant des études	k€	7 799	0	C
<b>Génie civil</b>	Assainissement	Caniveaux gravillonnés	ml	15 516	50	C
		Chambres et regards	ml	304	100	C; M
		Drains de plateforme	ml	6 403	100	C
		Regards et grilles	u	499	100	C
		Reprise d'assainissement	k€	348	50	C
	Îlots, quais et dalles techniques	Bordures en granit	ml	43 675	50	C
		Dalle de transition	m2	428	100	C; M
		Génie civil des quais	m2	3 823	50	C
	Réseaux humides	Canalisations en fonte	ml	494	50	C; M

Métier	E.F.	Intitulé	Unité	Qté (UF)	Durée de vie		
		Collecteurs béton	ml	4 147	50	C	
		Conduites AEP	ml	27 954	50	C	
		Tuyaux ovoïdes d'assainiss.	ml	1 813	50	C	
		Réseaux secs	Multitubulaire CFA	ml	6 597	50	C
			Multitubulaire CFO	ml	6 986	50	C
			Réseaux optique	ml	12 690	50	C
Réseaux pour éclairage	ml		26 000	50	C		
		Réseaux techniques stations	ml	9 250	50	C	
Installations temporaires	Accès temporaires	Chaussée provisoire	m2	45 581		C	
	Chantier et base de vie	Installation de chantier	u	5,00	2	C	
	Signalisation temporaire	Exploitation chantier	sous k€	2 087	10	C	
Remises en état	Génie civil	Renforcement chambres	ml	102	0	C	
		Renforcement T180/T210	ml	2 718	0	C	
		Reprise de branchements	u	809	0	C	
Signalisation	Signalisation dynamique	Feux de signalisation, SLT	u	1 670	10	C	
	Signalisation horizontale	Marquage au sol	m2	179 373	5	C; M; E	
	Signalisation verticale	Signalisation statique	u	1 220	10	C; M	
Terrassements	Fouilles et remblais techniques	Purge et substitution	m3	9 573	0	C; M	
		Remblais drainants	m3	14 994	100	C	
	Terrassement de surface	Déblayage à ciel ouvert	m3	129 705	0	C	
Travaux préparatoires	Dégagement d'emprises	Abatage arbres	u	32	0	C	
		Décapage terre végétale	m3	1 151	0	C	
		Défrichage	ha	0,46	0	C	
	Démolition	Démolition béton/maçon.	m3	198	0	C	
		Démolition de bâtiments	m3	20 829	0	C	
		Démolition de chaussées	m2	103 248	0	C	
		Démolition de trottoirs	m2	49 478	0	C	
		Démolition ouvrages linéaires	ml	2 436	0	C	
		Mise à la côte des émergences	m2	160 263	0	C	
	Dévoisement réseaux	Dépose de collecteurs	ml	591	0	C	
Dépose de collecteurs ovoïdes		ml	1 843	0	C		

## V.2. Les plans du projet

En complément aux quantités renseignées dans le DQE, l'évaluation carbone s'appuie sur les plans des ouvrages, et les notices explicatives. Ces pièces permettent notamment, de décomposer les travaux forfaitaires. Un extrait du plan général des emprises du projet est montré dans la **Figure 5**.

Figure 5 : Extrait du plan du BHNS au niveau de la rue André Chénier



## V.3. Les équipements techniques

Les consommations électriques des équipements techniques sont estimées à partir de leur puissance électrique et des hypothèses de fonctionnement. À la puissance électrique nécessaire, un temps d'utilisation annuel est attribué à chacun des équipements en fonction de leur usage. Le produit de ces données permet de calculer l'électricité consommée en kWh.

À ce stade de l'étude, le bilan puissance des équipements ne sont pas encore disponibles pour tous les équipements. À part les sous-stations, certaines consommations sont basées sur des hypothèses de puissance électrique et de temps de fonctionnement présentées dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Puissance des équipements électriques et leur consommation journalière

Dispositifs	Unité	Qté	Puissance unitaire	U.F.	P. totale (W)	Fonctio. (h/jour)	Conso. (kWh/j)
Équipement divers	kg	201	141	(W/kg)	28416	24	682
Équipements sous-station	u	4	82510	(W/u)	330040	19	6271
Éclairage public	u	631	54	(W/u)	34 074	10	341
Feux de signalisation, SLT	u	3 340	4,5	(W/u)	15 030	24	367
Bâtiments, sous-station	u	3	764	(W/u)	2 293	24	55
Affichage information voyageur	u	34	118	(W/u)	3998	24	96
Dispositifs de vidéosurveillance	u	35	24	(W/u)	850	24	20
Poste d'appel	u	18	8	(W/u)	151	24	4

## V.4. Le matériel roulant

La modélisation du cycle de vie du matériel roulant a été réalisée à partir des caractéristiques des véhicules et du parc envisagé. Comme mentionnée précédemment, le parc serait constitué de **lighTram@19**. Ces informations ont été collectées à partir de différentes sources : notes techniques de dimensionnement, littérature, données fabricant.

D'autres informations ont été constituées à partir des hypothèses établies à partir des données existantes pour des véhicules similaires (tramways, voiture électrique). Avant d'être employées, ces données ont été redressées et adaptées. Les principales caractéristiques nécessaires à la modélisation du cycle de vie sont présentées dans le **Tableau 5**.

**Tableau 5 : Caractéristiques principales des véhicules et du parc roulant.**

Caractéristique	Unité	Valeur	Source
Longueur	ml	19	HESS AG
Masse	tonne	15,5	HESS AG, Solaris, Alcoa
Puissance	kW	260	Solaris
Batterie (capacité)	kWh	45	Hypothèse
Consommation	kWh	3,3	TROLLEY Project (EU)
Durée de vie	ans	15	TROLLEY Project (EU)
Nombre de véhicules	u	12	Note d'exploitation SYTRAL
Distance parcourue	véh*km/an	414 816	Note d'exploitation SYTRAL

Nota : Les sensibilités des résultats vis-à-vis de ces hypothèses ont été analysées et ne remettraient pas en cause les résultats des émissions induites par le matériel roulant.

**Figure 6 : Véhicule de référence pour le parc roulant du projet : lighTram@19.**



## V.5. Les ateliers de construction

Des ateliers de travaux sont définis par type de métier. La composition des ateliers est définie à partir des informations issues de nos équipes techniques. Les engins de chantier utilisés et leur caractéristiques techniques sont listés dans l'**Annexe 3**.

En plus de la puissance des engins le pourcentage d'utilisation des engins permet de calculer la consommation horaire de carburant en appliquant la méthodologie EMEP - CORINAIR (EEA) « *air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.4 - Non-road mobile sources and machinery* ». En plus de ces informations, chaque atelier a une cadence de production associée, ce qui permet d'estimer la durée d'utilisation et la consommation finale de carburant. L'**Annexe 4** présente en détail la description des ateliers employés.

## V.6. Le fret

Pour le fret, il a été considéré une part modale de 100 % en mode routier. Afin de mieux identifier sa contribution aux émissions GES du projet, le fret routier a été départagé entre fret entrant, sortant et interne. L'approche retenue pour l'estimation du fret est celle du volume transportée en tonne.km. Cette approche est mieux adaptée pour le fret lourd car au contraire de l'approche déplacement (en véh.km), elle ne nécessite pas d'hypothèse de foisonnement.

Les distances d'approvisionnement utilisées sont détaillées pour chacun des engins, matériel, matériaux et déchets concernés. Les distances ont été choisies en fonction de :

- la disponibilité de la ressource, plus elle est disponible plus elle est considérée proche ;
- la distance vers les sites d'approvisionnement (matériaux) d'évacuation (déchets).

La distance de transport prise par défaut pour l'évacuation des déchets est de 40 km. La distance de transport interne pour le stockage provisoire est établie à 4 km. Les hypothèses de distance de fret sont détaillées dans le **Tableau 6**.

**Tableau 6 : Hypothèses pour les distances de fret d'évacuation/approvisionnement**

Inv. E1	Inv. E2	Distance (km)
<b>Intrants</b>	Acier	100; 300; 500
	Aluminium	300
	Asphalte	100
	Autres métaux	500
	Bois	200
	Béton hydraulique	50
	Béton préfabriqué	100
	Céramique/terre cuite	300
	Enduits/revêtements résine	1000
	Enrobés bitume	100
	Graviers/granulats	50; 200
	Liant hydraulique	100
	Matériel électronique	500; 1000
	Plastiques/polymères	300
	Ratios	1200
	Verre	500
Végétation	50	
<b>Immobilisations</b>	Bâtiments/EP	200
	Véhicules, Machines et Outils	200
<b>Déchets</b>	Déchets bâtiment	5; 40
	Déchets dangereux	100
	Déchets plastiques	40
	Ordures ménagères	40; 200

## V.7. Déplacements domicile / travail

Pour le déplacement du personnel, il a été considéré un trajet moyen routier (distance domicile / travail) de 13,7 km (soit 27,4 km aller-retour). Cette distance correspond à la moyenne rapportée par les études de mobilité dans la métropole de Lyon. Une part modale composée de 70% de déplacement en VP et 30% en bus a été considérée. Le taux d'occupation des VP est de 1,1.

Le nombre de déplacements domicile/travail est estimé par phase de vie du projet. Ce nombre est donné par les équivalent temps plein estimées pour les travaux. Ces estimations prennent en compte la durée des travaux et les cadences théoriques des ateliers de construction.

## V.8. Les immobilisations

Les immobilisations correspondent à l'ensemble de moyens matériels et aux installations temporaires qui sont nécessaires à la réalisation du projet. Dans les immobilisations du projet sont considérés les engins de chantier et d'entretien ainsi que la base vie et les cantonnements du chantier. Afin de tenir compte de l'empreinte carbone générée par leur fabrication, le total des émissions est amorti sur la durée d'utilisation dans le cadre du projet.

Les facteurs d'émission utilisés ont été calculé sur la base de données de l'ADEME. Ainsi, on retient le FE des machines (3 670 kg CO<sub>2</sub>e/tonne) pour les engins de chantier et d'entretien et le FE des bureaux en métal (158 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>) pour les cantonnements et la base vie.

Pour pouvoir l'adapter à l'utilisation réelle des engins le FE a été converti en kg CO<sub>2</sub>/((tonne\*jour) en considérant une durée de vie de 20 ans pour les engins et une utilisation annuelle de 251 jours (équivalent jours ouvrés). Le FE initial est donc divisé par 5020 (20\*251) ce qui correspond à 0,73 kg CO<sub>2</sub>e/ (tonne. jour). De la même façon, on obtient le FE des cantonnements qui correspond à 0,032 kg CO<sub>2</sub>e/(tonne.m<sup>2</sup>).

## VI. BILAN GES DES INFRASTRUCTURES

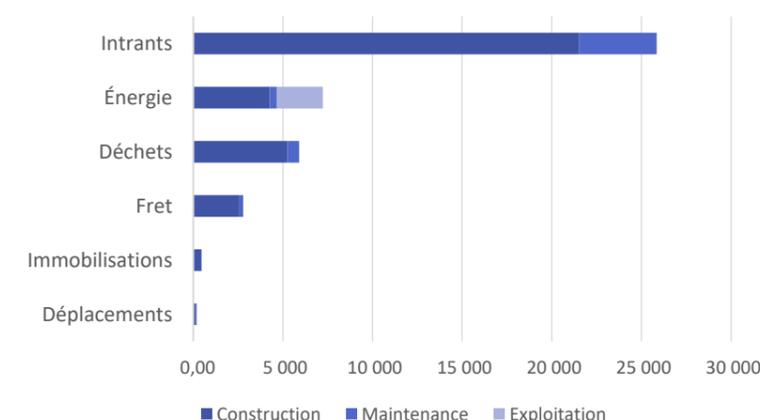
### VI.1. Bilan global

Le bilan global des émissions directes et indirectes est de **42 440 t CO<sub>2</sub>e**. (hors émissions liées aux usagers). L'incertitude totale est estimée à 3 192 t CO<sub>2</sub>e, soit 8%. La décomposition des émissions par poste d'émission est montrée dans la **Figure 7**. Les émissions sont aussi découpées par phase du cycle de vie.

Figure 7 : Émissions GES globales du projet par poste émetteur (hors usagers)

#### BHNS Lyon, BGES par poste

Émissions GES, phase A1-B6 (t CO<sub>2</sub>e)



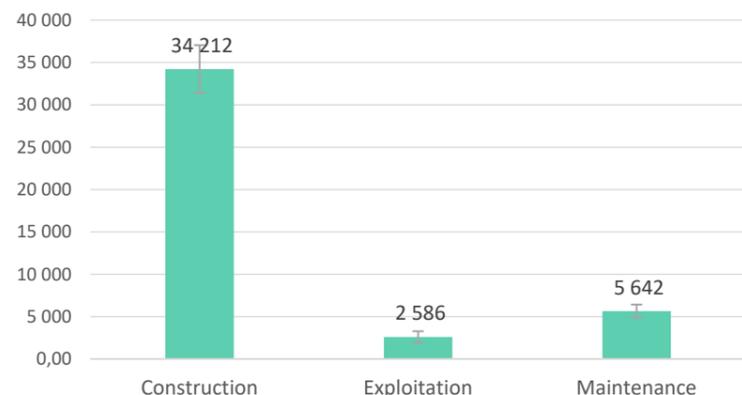
Inv. E1	Construction	Maintenance	Exploitation
<b>Intrants</b>	21 528	0,00	4 319
<b>Énergie</b>	4 263	2 580	390
<b>Déchets</b>	5 256	0,00	652
<b>Fret</b>	2 568	0,00	220
<b>Immobilisations</b>	442	0,00	27
<b>Déplacements</b>	154	6,34	33

Une première observation des postes rend compte de l'importance de la part des émissions liées aux travaux de construction et maintenance. Ces émissions représentent en effet 87 % du total des émissions du projet. La répartition des émissions parmi les différentes phases du projet est montrée dans la Figure 8.

Figure 8 : Émissions GES totales par phase du cycle de vie

**BHNS Lyon, BGES par phase**

Émissions GES, phase A1-B6 (t CO<sub>2</sub>e)



**VI.1.1. Phase construction (A1-A5)**

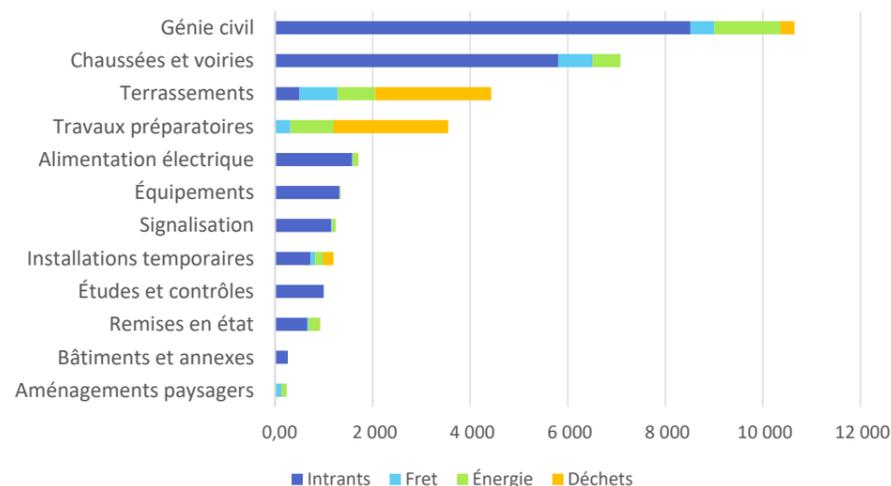
Concernant la phase construction (A1-A5) les émissions ont été traitées par corps de métier, puis par poste d'émissions. Le total des émissions obtenues pour cette phase est de **34 212 t CO<sub>2</sub>e** avec une incertitude de 8%. La décomposition de ces émissions parmi les 4 postes principaux est présentée dans la **Figure 9**.

Quelques remarques sont à prendre en compte dans cette évaluation. Tout d'abord, les travaux de dépose de l'existant et de dégagement des emprises sont comptabilisés dans les travaux préparatoires. Ces émissions sont prises en compte dans la phase de construction car elles sont nécessaires à la préparation des emprises du projet avant le début des travaux de construction.

Figure 9 : Décomposition des émissions GES en phase construction par corps de métier et par poste d'émission

**BHNS Lyon, BGES phase Construction**

Émissions GES par métier et par poste (t CO<sub>2</sub>e)



Métier	Intrants	Fret	Énergie	Déchets
Génie civil	8 517	483	1 356	295
Chaussées et voiries	5 810	700	571	
Terrassements	500	785	764	2 382
Travaux préparatoires		313	885	2 352
Alimentation électrique	1 578	16	107	5,51
Équipements	1 316	11	15	0,04
Signalisation	1 152	17	71	1,58
Études et contrôles	731	91	166	208
Remises en état	997			
Installations temporaires	660	29	222	12
Aménagements paysagers	260			
Bâtiments et annexes	7,39	121	107	

En plus des travaux de préparation, l'installation du chantier ainsi que les opérations de repli sont comptabilisées dans les installations temporaires. Il est rappelé que les déchets générés par la base vie y sont intégrés car ils font l'objet d'un stockage provisoire dans les bennes déchet se trouvant à proximité de la base vie.

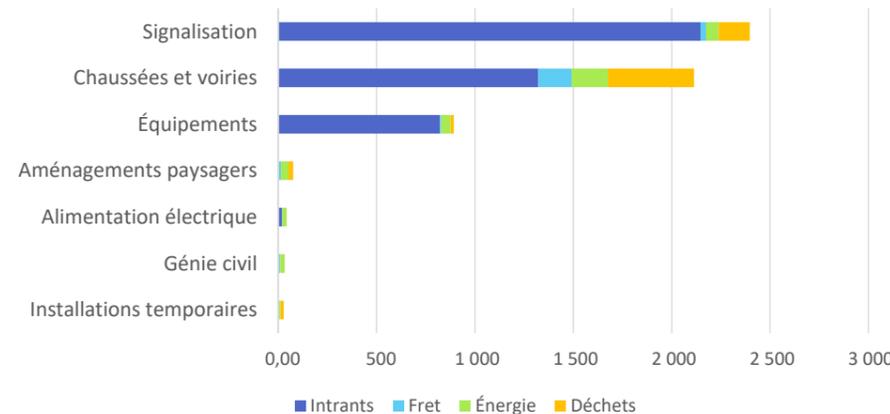
**VI.1.2. Phase maintenance (B2-B5)**

S'agissant des émissions GES concernant la phase de maintenance, l'estimation du total des émissions s'élève à **5 642 t CO<sub>2</sub>e**, avec une incertitude de 14%. La décomposition des émissions par corps de métier est présentée dans la **Figure 10**. L'évaluation des émissions liées aux travaux de maintenance respecte la même méthodologie que celle utilisée pour la phase construction. En effet, certains travaux se font de façon répétitive en fonction des jouvences définies pour ce projet.

Figure 10 - Décomposition des émissions GES correspondantes à la phase de maintenance

**BHNS Lyon, BGES phase Maintenance**

Émissions GES par métier et par poste (t CO<sub>2</sub>e)



Métier	Intrants	Fret	Énergie	Déchets
Signalisation	2 146	28	65	158
Chaussées et voiries	1 322	169	186	437
Équipements	822	7,13	47	16
Alimentation électrique	1,57	12	38	24
Aménagements paysagers	20	0,56	21	0,22
Génie civil	6,78	3,67	22	0,02
Installations temporaires	0,53		11	16

En plus des travaux de mise en œuvre, la réfection des structures et des équipements requiert des travaux de démolition et de dépose de l'existant. Ces travaux ont été définis et des ateliers de travaux leur sont associés. Le traitement des déchets est aussi intégré dans les calculs. À ce point de l'évaluation, aucune hypothèse de recyclage n'a pas été intégrée. Elles feront l'objet d'une analyse ultérieure dans le chapitre IX de ce rapport.

### VI.1.3. Phase exploitation

Les émissions en phase d'exploitation du projet ne concernent que celles issues des consommations énergétiques des équipements installés. Les émissions liées aux consommations énergétiques du matériel roulant sont abordées dans le chapitre VII.

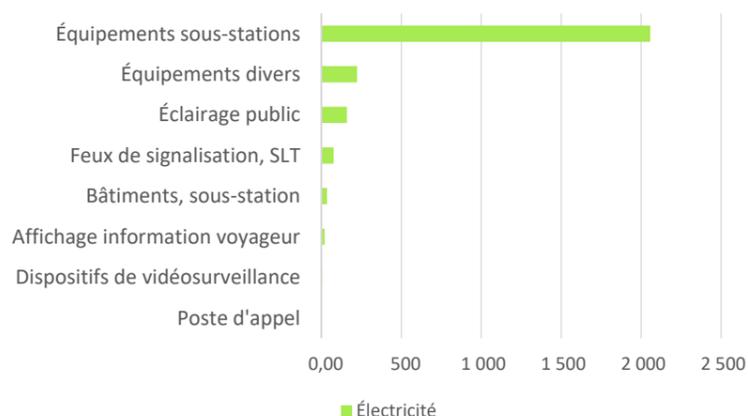
Pour rappel, les consommations prises en compte concernent les équipements de sous-stations, les locaux techniques, les différents équipements d'exploitation (affichage d'information voyageur, caméras...) et la signalisation dynamique. Les résultats de puissance électrique et de consommation annuelle ont été présentés dans le **Tableau 4**.

D'après les résultats obtenus, la consommation énergétique annuelle de l'ensemble d'équipements est d'environ 2,8 GWh. À la fin de la période d'évaluation de 15 ans, la consommation finale devrait atteindre 42 GWh et les émissions engendrées **2 586 t CO<sub>2</sub>e**. La **Figure 11** montre la répartition des émissions pour les équipements considérés.

Figure 11 : Répartition des émissions GES correspondant à la consommation des équipements techniques

### BHNS Lyon, BGES phase Exploitation

Émissions GES par métier et par poste (t CO<sub>2</sub>e)



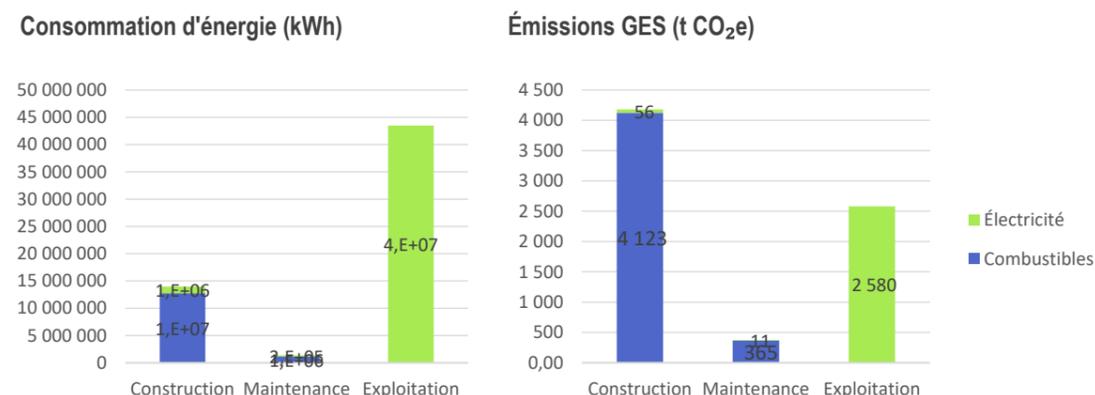
## VI.2. Bilan par poste d'émission

### VI.2.1. L'énergie

La consommation de carburant et d'électricité ainsi que les émissions GES par phase du cycle de vie sont présentées dans la **Figure 12**.

Figure 12 : Consommation de carburant et d'électricité des engins et des installations de chantier.

### BHNS Lyon, consommation et BGES Énergie



### VI.2.2. Les intrants

Le bilan des intrants du projet concerne les matériaux de construction ainsi que les équipements. À partir des bases de données constituées pour l'évaluation du projet, la masse par unité fonctionnelle et les FE de production de chaque matériau/équipement permet de quantifier les flux de masse (tonnes) et le contenu carbone (t CO<sub>2</sub>e) par type de matériaux.

Les répartitions des masses et du contenu carbone par type de matériau et par phase du projet sont présentées dans la **Figure 13** et **Figure 14**. Leur comparaison permet d'apprécier l'impact carbone de chaque matériau employé dans la phase de construction.

Figure 13 : Répartition des flux de masse et du contenu carbone par type de matériau en phase construction

### BHNS Lyon, BGES Intrants (Construction)

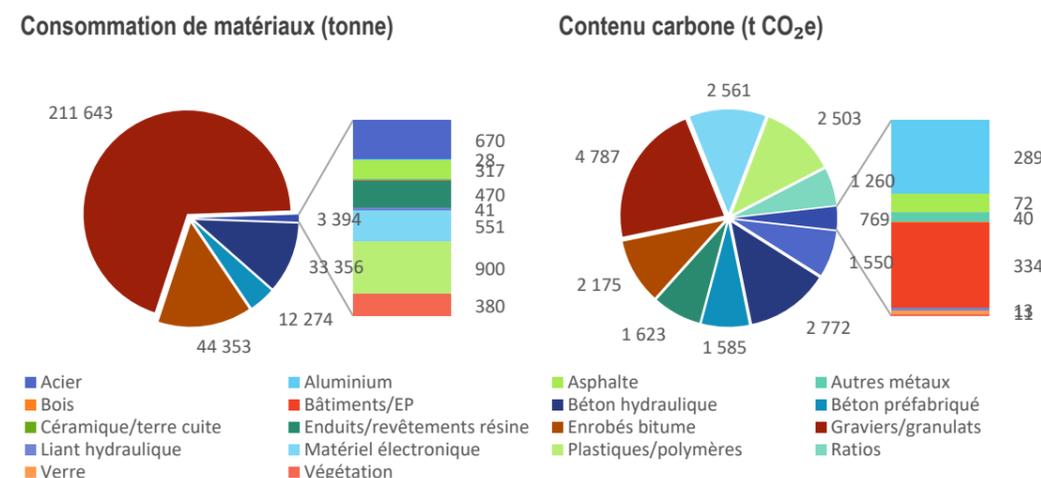


Figure 14 : Répartition des flux de masse et du contenu carbone par type de matériau en phase maintenance

**BHNS Lyon, BGES Intrants (Maintenance)**

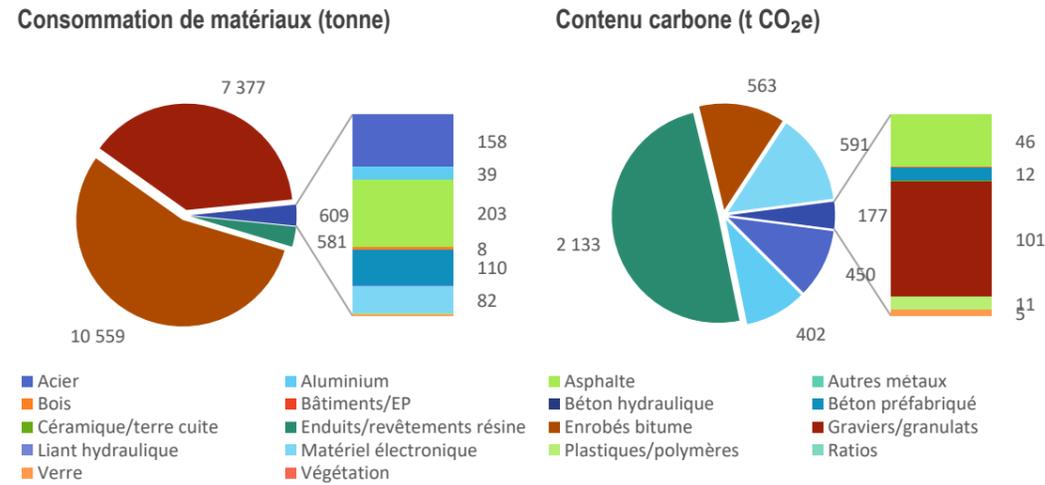
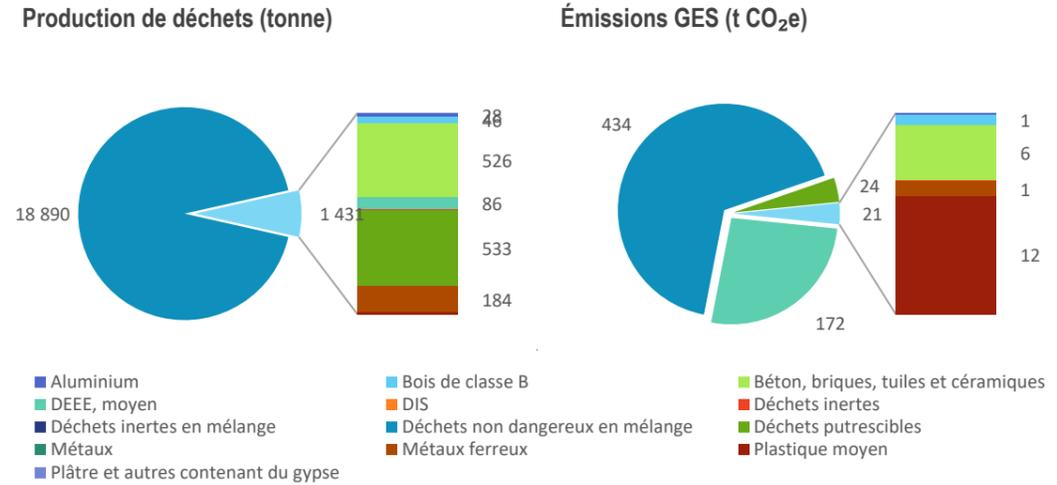


Figure 16 : Répartition des flux de masse et des émissions de traitement par déchet pour la phase maintenance

**BHNS Lyon, BGES Déchets (Maintenance)**



**VI.2.3. Les déchets**

Le bilan des déchets issus des travaux préparatoires ainsi que des travaux de construction et de maintenance est structuré selon les désignations de l'ADEME.

Les FE des traitements de déchets considérés sont l'incinération (déchets végétaux), la mise en CET (les déblais, la décharge de démolition) et le mix moyen des filières de traitement en France métropolitaine pour les autres déchets. Tous les FE sont proposés par l'ADEME. Suivant la même logique du bilan des intrants, les déchets sont présentés dans la Figure 15 et en termes de masse et des émissions liées au traitement de ces derniers.

**VI.2.4. Le fret**

Le calcul des émissions du fret routier a été fait selon trois typologies de transport :

- le fret entrant : transport au chantier des intrants et des immobilisations ;
- le fret sortant : évacuation des déchets ;
- le fret interne : stockage provisoire à proximité des déchets.

Figure 15 : Répartition des flux de masse et des émissions de traitement par déchet pour la phase construction

**BHNS Lyon, BGES Déchets (Construction)**

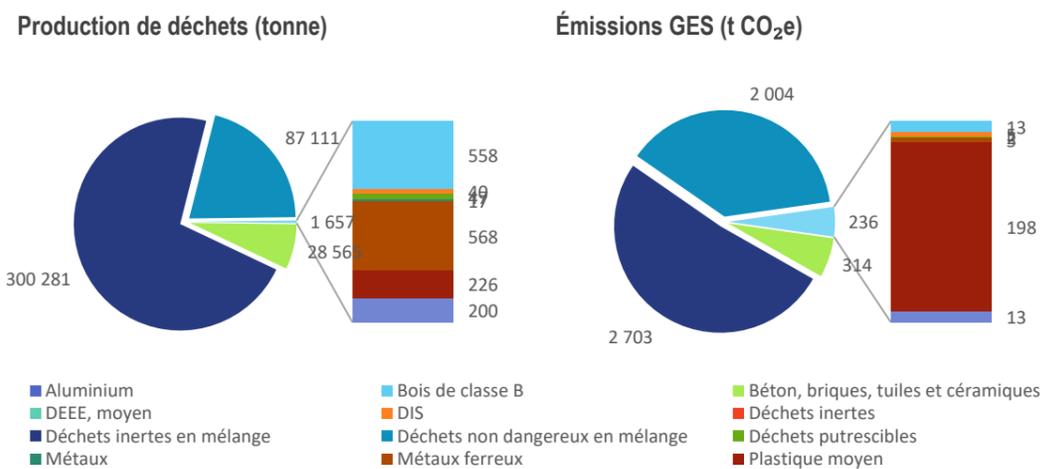
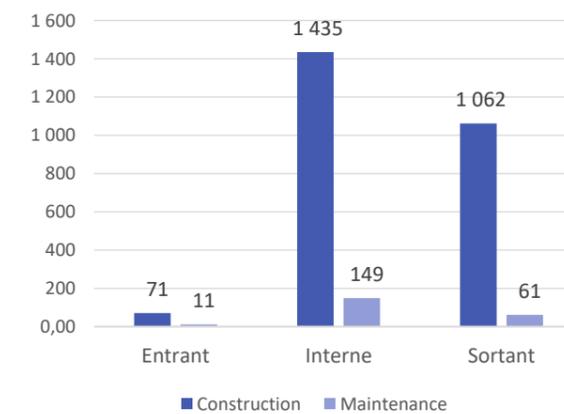


Figure 17 : Décomposition du fret routier en fret intrant, sortant et interne en phase construction

**BHNS Lyon, BGES Fret**

Émissions GES par phase (t CO<sub>2</sub>e)



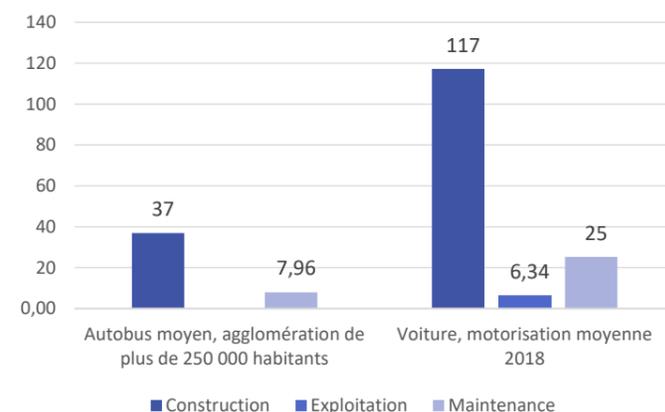
### VI.2.5. Les déplacements

À partir des Ateliers de construction définis il a été calculé le nombre total d'heures de main d'œuvre nécessaire et ainsi les nombre de déplacements du personnel en phase construction et maintenance. La répartition des émissions GES des déplacements du personnel par phase est montrée dans la **Figure 18**.

**Figure 18 : Répartition des émissions liées aux déplacements du personnel par phase du projet**

#### BHNS Lyon, BGES Déplacements

Émissions GES par phase (t CO<sub>2</sub>e)



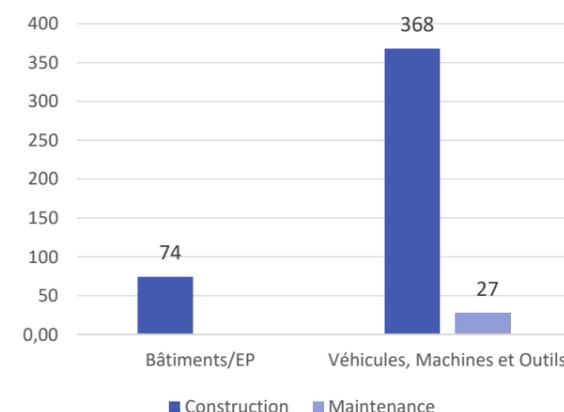
### VI.2.6. Les immobilisations

L'amortissement des émissions GES liées à la fabrication des engins de chantier est réalisé selon la méthodologie décrite dans la section V.8. La décomposition des émissions est établie suivant la durée des immobilisations en phase construction et maintenance. La **Figure 19** présente la répartition des émissions GES liées à l'usage des engins de chantier et des cantonnements.

**Figure 19 : Répartition des émissions de GES des immobilisations en phase construction**

#### BHNS Lyon, BGES Immobilisations

Émissions GES par phase (t CO<sub>2</sub>e)



## VII. BILAN GES DU MATÉRIEL ROULANT

### VII.1. Bilan des émissions du matériel roulant

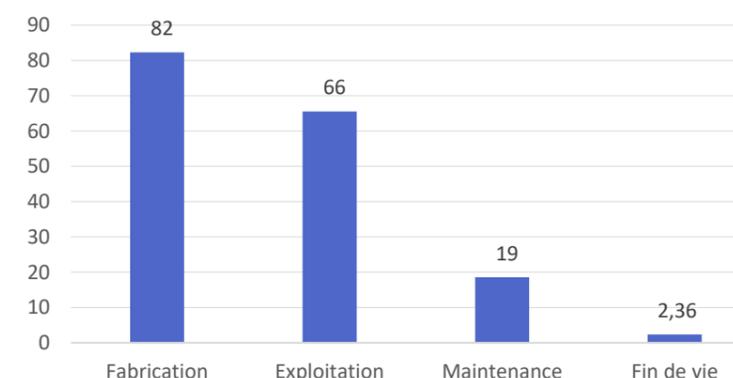
Le bilan global des émissions directes sur l'ensemble du cycle de vie du matériel roulant est de **2 025 t CO<sub>2</sub>e**, soit **169 t CO<sub>2</sub>e** par véhicule. La décomposition des émissions pour le cycle de vie du trolleybus est montrée dans la **Figure 20**.

Une première observation rend compte de l'importance de la part des émissions liées à la production et à l'exploitation. Ces émissions représentent en effet respectivement 49% et 39% du total des émissions du matériel roulant.

**Figure 20 : Émissions GES par phase du cycle de vie par véhicule lighTram®19.**

#### BHNS Lyon, BGES du matériel roulant

Émissions GES (t CO<sub>2</sub>e) par phase du cycle de vie d'un trolleybus



#### VII.1.1. Production

Au total les émissions de la phase de fabrication sont de **82,2 t CO<sub>2</sub>e** par véhicule. Dans cette étape sont prises en compte les productions du châssis, de la motorisation, et de la batterie. La décomposition des émissions par composante est présentée dans la **Figure 21**.

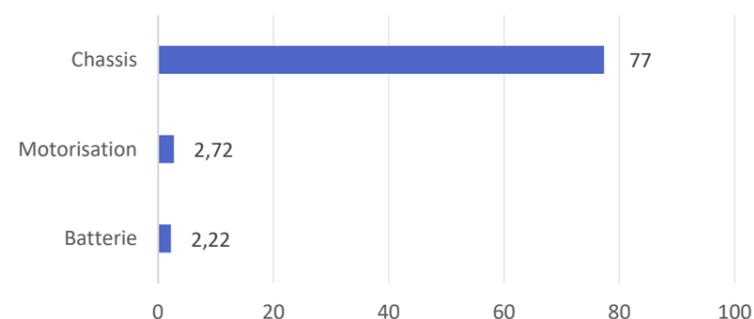
Les émissions de la production du châssis représentent **77 t CO<sub>2</sub>e**, soit 93% des émissions de la phase de production. Pour rappel, la masse du châssis du trolleybus est d'environ 15,5 tonnes. Cette valeur a été extrapolée à partir de données de longueur et de masse disponibles pour le modèle lighTram®25.

De plus, le modèle lighTram19 est une version disposant d'un châssis allégé. De ce fait, une correction a été effectuée dans les calculs de la masse du châssis en prenant comme référence la tendance de remplacement de l'acier par l'aluminium observée dans le secteur automobile. Sur cette base, on estime que la quantité d'acier employée pour la production du châssis du lighTram®19 est diminuée de 63% au profit d'une augmentation de 30% de la quantité d'aluminium.

D'autre part le calcul des émissions pour la motorisation et la batterie s'appuie sur des ratios moyens constatés dans le secteur. Par exemple, l'évaluation prend en compte la puissance et la masse de la motorisation d'un modèle similaire, le Solaris Urbino 18. La masse de la motorisation est ainsi estimée à 560 kg/véh et son empreinte carbone s'élèverait à **2,72 t CO<sub>2</sub>e**.

Figure 21 : Émissions GES liées à la fabrication des lightTram®19, par composant

## BHNS Lyon, BGES du matériel roulant

Émissions GES (t CO<sub>2</sub>e) de la fabrication d'un trolleybus par composant

De même, la capacité et la masse de la batterie ont été estimées à partir de l'autonomie d'une automobile hybride rechargeable. Cette hypothèse d'autonomie permet de prendre en compte les besoins pour les déplacements hors parcours courant (remisage et dépôt notamment). La masse de la batterie est ainsi estimée à 320 kg et son empreinte carbone s'élèverait à **2,22 t CO<sub>2</sub>e** par véhicule.

Compte tenu des résultats, la part correspondante à la motorisation électrique et la batterie est négligeable par rapport à l'empreinte carbone de la fabrication du châssis. Ainsi, le modèle du cycle de vie n'est pas sensible aux hypothèses prises pour ces deux composantes.

## VII.1.2. Exploitation

Pour l'étape d'exploitation, la consommation d'électricité est estimée à partir des données de consommation moyenne pour un Trolleybus en Europe. Ces valeurs ont été désagrégées en utilisant la consommation détaillée pour un tramway afin d'obtenir la consommation à vide et par tonne de passagers transportés.

Au total par véhicule, ce sont 1 383 MWh d'électricité qui sont consommés sur les 15 années d'évaluation, soit **65,5 t CO<sub>2</sub>e (786,5 t CO<sub>2</sub>e** pour l'ensemble du parc roulant). La consommation d'énergie étant dépendante du poids, l'allègement du châssis est pris en compte dans l'évaluation. D'après les estimations, l'allègement du châssis ferait passer la consommation moyenne de 3,3 à 2,7 kWh/km.

Il est à signaler que le facteur d'émission retenu pour la production de l'électricité correspond à l'allocation des émissions faite par usage. En effet, l'ADEME prend en compte le recours aux différentes filières de production (nucléaire, éolien, ...) et la saisonnalité des consommations. Ainsi, le facteur d'émission pour les transports (47,4 kg CO<sub>2</sub>e) est inférieur à celui du mix électrique (56,9 kg CO<sub>2</sub>e).

## VII.1.3. Maintenance

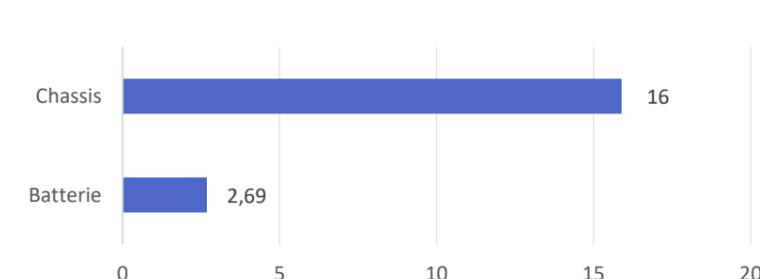
La maintenance des véhicules prend en compte :

- l'entretien du véhicule (renouvellement des peintures, remplacement des pneumatiques et autres pièces de rechange)
- le renouvellement de la batterie (un seul renouvellement sur la durée de vie totale)

À partir de ces activités et de la base de données Ecoinvent®, les émissions GES liées à la maintenance d'un Trolleybus devraient représenter **18,5 t CO<sub>2</sub>e** par véhicule, soit **223 t CO<sub>2</sub>e** pour l'ensemble du parc. La décomposition des émissions par composant est présentée dans la **Figure 22**.

Figure 22 : Émissions GES liées à la maintenance des lightTram®19, par composant

## BHNS Lyon, BGES du matériel roulant

Émissions GES (t CO<sub>2</sub>e) de la maintenance d'un trolleybus par composant

## VII.1.4. Fin de vie

Pour la fin de vie, l'ensemble des composants du véhicule (châssis, motorisation et batterie) sont pris en compte. La méthodologie d'évaluation reprend les inventaires de cycle de vie de référence de la base Ecoinvent®. Le traitement d'élimination des composants émet **2,35 t CO<sub>2</sub>e** par véhicule, soit **23,3 t CO<sub>2</sub>e** au total.

## VII.2. Comparaison des émissions par mode

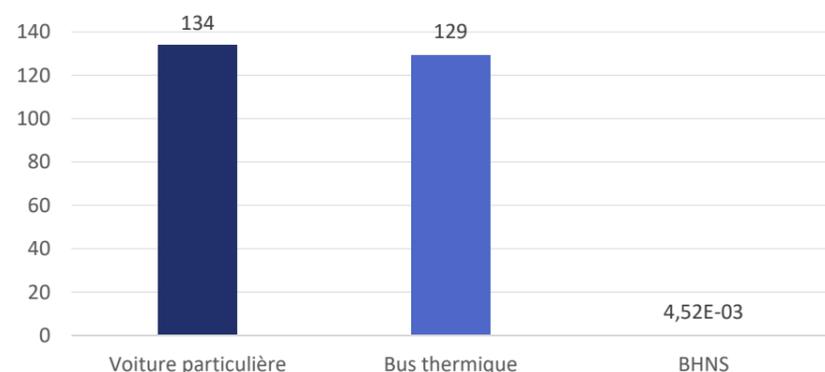
À ce stade, les émissions GES liées au transport des passagers sur la ligne BHNS serait d'environ **4,52 g CO<sub>2</sub>e/passager.km**. Cette valeur prend en compte les hypothèses d'exploitation suivantes :

- fréquentation quotidienne de 16 830 passagers (cf. Note d'exploitation)
- distance parcourue moyenne annuel de 414 816 véh.km (ensemble du parc roulant)
- pour une distance parcourue moyenne de 5 km par voyageur

À titre informatif, d'après la Base Carbone les émissions du réservoir à la roue pour une voiture particulière est en moyenne de 134 g CO<sub>2</sub>e/passager.km. Dans le cas d'un autobus thermique de 129 g CO<sub>2</sub>e/passager.km (agglomération de plus de 250 000 habitants).

Figure 23 : Comparaison des facteurs d'émissions du transport de passager

## BHNS Lyon, BGES du matériel roulant

Comparaison des émissions GES (g CO<sub>2</sub>e/p\*km) par mode

## VIII. BILAN GES DU REPORT MODAL

Comme mentionné précédemment (cf. IV.6) les émissions des usagers ne correspondent pas uniquement à celles liées au projet de BHNS. En effet, l'intégration de la nouvelle ligne de BHNS dans le réseau de transport lyonnais induit un report modal significatif. Cela a des effets directs sur l'empreinte carbone des déplacements dans l'agglomération.

En effet, la nouvelle offre de transport et l'électrification apportée par le futur BHNS au réseau de transport existant participera à la réduction de l'empreinte carbone des déplacements des usagers. En plus du report modal induit sur les modes individuels, le report des usagers des bus thermiques existants permettrait d'éviter des émissions GES, notamment celles des moteurs thermiques.

Afin d'estimer les émissions évitées liées au projet, le périmètre d'évaluation a été élargi (cf. IV.7). Ainsi, le périmètre choisi correspond à celui de Modely®, le modèle multimodal des transports de la Métropole Lyonnaise. Au sein de ce périmètre, les modes de transport analysés sont : les TC concernés par l'offre du futur BHNS et les VP.

## VIII.1. émissions évitées TC

Le calcul des émissions évitées est effectué en deux étapes. la première consiste à évaluer les déplacements en TC (en M passager.km) et les émissions liées (en kT CO<sub>2</sub>e) pour les scénarii de référence et projet à l'horizon 2040. Ces valeurs ont été estimées pour lignes TC présentées dans le **Tableau 7**. La comparaison entre les résultats obtenus pour les deux scénarii est montrée dans la **Figure 24**.

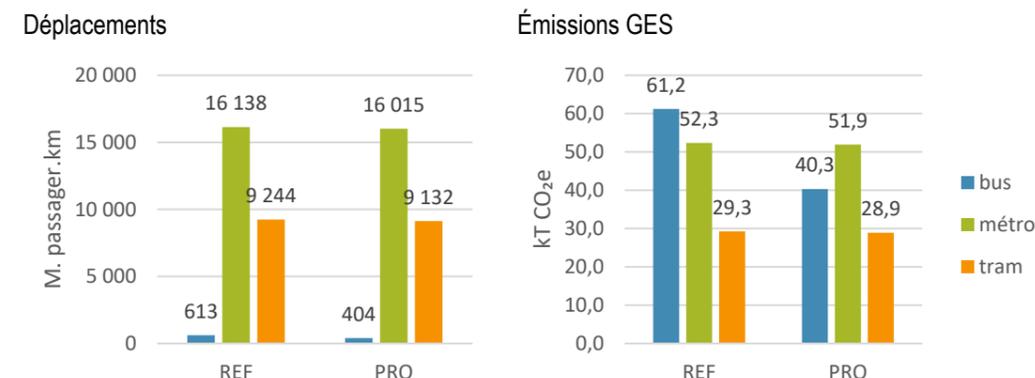
Tableau 7 : Modes et lignes de transport en commun retenues pour l'estimation des émissions évitées

Mode	Lignes
Bus	25, LEL
Métro	A, B, C, D
Tram	T1, T2, T3, T4, T6, T7, T8, T9, T10

Figure 24 : Comparaison des déplacements TC et des émissions entre le scénarii de référence et projet

## BHNS Lyon, Bilan GES phase utilisation

Émissions GES B1, comparaison scénarii REF et PRO TC



Le calcul des déplacements (passager.km) prend en compte la fréquentation des TC estimée par Modely® et une hypothèse de distance moyenne par trajet de 5,4 km. Cette valeur est cohérente avec les dernières statistiques de mobilité (*Moovit*, 2022).

D'après les estimations, le projet de BHNS permettrait de réduire de près de 444 M passager.km sur le reste du réseau TC. Cette réduction est plus importante pour le réseau de bus (209 M passager.km), concerné par les émissions liées aux moteurs thermiques.

La réduction des déplacements permettrait ainsi d'éviter **21,62 kt CO<sub>2</sub>e**, issues principalement par le réseau bus (ligne 25). Il est à noter que les émissions évitées dans le réseau métro et tram (750 kt CO<sub>2</sub>e) sont équivalentes aux émissions GES liées à l'exploitation du projet BHNS vers lequel le report modal s'opère (voir VII.1.2).

Tableau 8 : Différence des déplacements TC (hors BHNS) et écarts relatifs

mode	Déplacements (M p.km)		Émissions (kT CO <sub>2</sub> e)	
	diff_abs	diff_rel	diff_abs	diff_rel
bus	-209	-34%	-20,87	-34%
métro	-123	-1%	-0,40	-1%
tram	-112	-1%	-0,35	-1%

## VIII.2. Émissions évitées VP

La deuxième étape consiste à estimer les émissions évitées à partir du kilométrage évité calculé par Modely® sur l'ensemble du réseau routier. En effet, l'écart en véh.km entre les scénarii de référence et projet est directement calculé par le modèle multimodal. Le **Tableau 9** montre le kilométrage évité par année ainsi que les hypothèses de croissance du trafic par période.

Tableau 9 : Kilométrage VP évité aux horizons 2030 et 2040 et hypothèse d'augmentation annuelle du trafic

VP kilométrage	2022	2030	2040
dif (véh.km/jour)	0	-44 957	-52 117
t_annuel	3,22%	0,88%	

Les valeurs de kilométrage évités sont interpolées entre la situation avant la mise en service (2026) et l'horizon 2040. Cette interpolation prend en compte une croissance géométrique du trafic en utilisant les taux d'augmentation annuel présentés dans le **Tableau 9**. Pour rappel, le coefficient de passage jour vers trafic annuel est de 247, en accord avec l'étude socioéconomique.

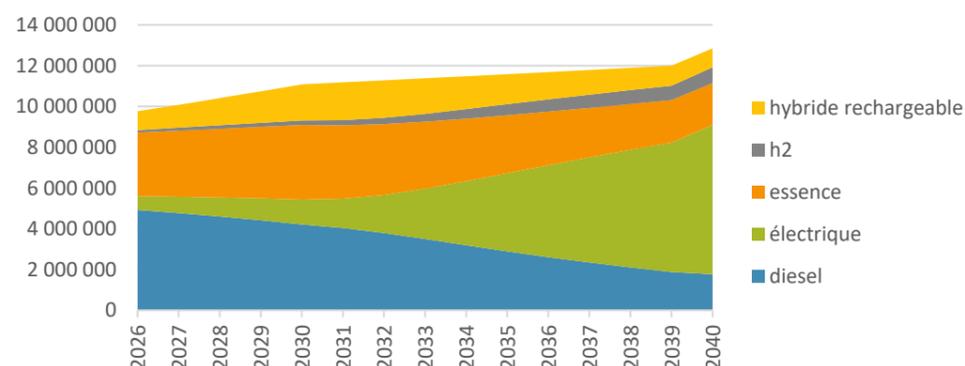
Les kilométrages annuels sont ensuite repartis suivant la décomposition du parc roulant routier projeté par la SNBC. Comme mentionné dans la section IV.6, l'évolution du parc roulant prend en compte l'interdiction des ventes de voitures thermiques à partir de 2035. Les kilomètres évités par motorisation à l'horizon 2040 est présentée dans la **Figure 25**.

Selon les estimations, le projet BHNS permettrait de réduire 169,2 M véh.km les déplacements VP entre sa mise en service (2026) et l'horizon 2040. Ainsi, cette réduction permettrait d'éviter **20,67 kt CO<sub>2</sub>e** qui auraient été émises par les déplacements VP (émissions directes et amont).

**Figure 25 : Évolution des kilomètres VP évités par motorisation à l'horizon 2040**

### BHNS Lyon, kilométrage VP évité

Kilométrage évité par motorisation à l'horizon 2040 (véh.km)



## VIII.3. Émissions évitées totales

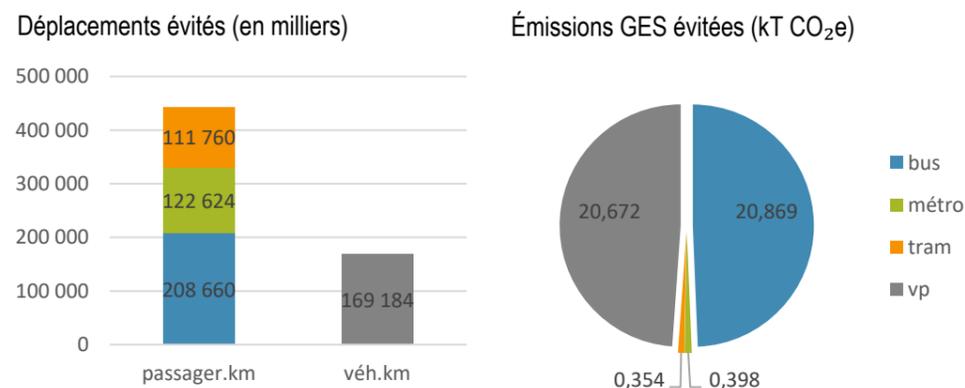
Le calcul des émissions évitées pour les TC et les VP montrent que le projet BHNS permettrait d'éviter **42,3 kt CO<sub>2</sub>e**. Les émissions évitées sont majoritairement issues de l'exploitation de la ligne 25 et des voitures qui auraient eu lieu sans le projet de BHNS.

Le récapitulatif de des résultats en termes de déplacements évités (en passagers.km et véh.km) et d'émissions (en kt CO<sub>2</sub>e) est présenté dans la **Figure 26**.

**Figure 26 : Récapitulatif des déplacements et émissions évités à l'horizon 2040**

### BHNS Lyon, Bilan GES phase utilisation

Émissions GES B1, déplacements et émissions GES évités



## IX. ANALYSE ET MESURES DE RÉDUCTION

### IX.1. Analyse des émissions majoritaires

À l'issue du bilan GES effectué pour les différentes phases du cycle de vie de l'infrastructure, les éléments les plus émetteurs du projet ont été identifiés. En prenant en compte les émissions de ces postes ainsi que leur potentiel de réduction de GES, six corps de métiers ont été retenus pour effectuer une analyse détaillée. Cette analyse vise à apporter les sous-détails des émissions calculées afin de proposer des mesures de réduction.

Les mesures de réduction sont accompagnées d'une estimation du potentiel de réduction calculée pour chacun de ces corps de métier. À ce stade de l'étude ces calculs incorporent des fortes incertitudes et les émissions réduites calculées correspondent au gisement d'économies carbone. Il est à noter que la notion de gisement prend en compte le total des économies possibles à faire.

Cependant, l'exploitation de tout ou partie de ce gisement nécessite la validation d'un certain nombre d'hypothèses qui peuvent évoluer suivant l'avancement des études dans la phase de conception. Ainsi, les résultats présentés ne sont pas définitifs et constituent une première estimation qui sera affinée, approfondie et complétée avec le reste de mesures comprises dans le dossier environnemental.

### IX.2. Démarche et axes de réduction

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 dimensionnants 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 permet de réduire de façon substantielle l'impact du projet. En 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.

Ensuite, la démarche de maîtrise de l'empreinte carbone devra inclure un suivi des GES le long des étapes du projet assurant ainsi le respect des objectifs carbone qui font partie des engagements du MOA auprès des différentes parties prenantes. Enfin, le suivi assurera la compréhension et l'engagement des acteurs de la chaîne valeur dans la démarche de réduction des GES du projet.

#### IX.2.1. 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 corps de métier. 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.

Concernant les corps de métier analysés, ils correspondent à des travaux dans lesquels le choix des matériaux alternatifs et recyclés est plausible vis-à-vis des contraintes techniques et des options bas-carbone existantes dans le marché.

D'autre part, les matériaux retenus pour l'analyse correspondent à ceux pour lesquels des alternatives connues existent et sont commercialisées. En ce sens, les fournitures telles que les équipements électroniques ou les enduits et revêtements ne sont pas pris en compte. Le Tableau 10 récapitule l'ensemble des corps de métier et de matériaux faisant l'objet de mesures de réduction.

Tableau 10 : Récapitulatif des corps de métier, de la quantité et du contenu carbone des matériaux analysés

Inv. E2	Métier	Σ Masse (tonne)	Σ GES (t CO2e)
Acier	Alimentation électrique	271	697
	Équipements	248	724
	Génie civil	26	37
	Signalisation	100	256
Aluminium	Alimentation électrique	5	39
	Équipements	7	54
	Signalisation	55	592
Asphalte	Chaussées et voiries	464	103
	Génie civil	56	16
Autres métaux	Alimentation électrique	19	40
Béton hydraulique	Chaussées et voiries	6 693	729
	Équipements	11	0,93
	Génie civil	26 651	2 042
Béton préfabriqué	Alimentation électrique	811	96
	Équipements	431	48
	Génie civil	9 444	1 250
	Signalisation	555	65
Enrobés bitume	Chaussées et voiries	48 485	2 395
Graviers/granulats	Chaussées et voiries	122 665	1 861
	Équipements	0	0,00
	Génie civil	40 288	2 405
	Terrassements	43 679	442
Liant hydraulique	Alimentation électrique	3	1,20
	Génie civil	10	2,98
Plastiques/polymères	Alimentation électrique	3	20
	Chaussées et voiries	314	603
	Équipements	4	15
	Génie civil	514	1 661
	Signalisation	12	44
	Terrassements	16	58

Le premier des matériaux abordé par l'analyse est le béton. En effet, sur l'ensemble du cycle de vie, les métiers retenus consomment un total de 42 598 tonnes, ce qui représente environ 4 231 t CO<sub>2</sub>e. Dans ce cas, la mesure préconisée consiste à privilégier le béton bas-carbone en ciment à base de laitier de haut fourneau, ce qui réduit l'utilisation de clinker dont l'énergie grise est nettement plus élevée.

L'évaluation de cette mesure est faite en remplaçant le facteur d'émission ciment CEM II utilisé dans les bétons conventionnelles par celui du ciment incorporant du laitier (CEM III/B, voir **Tableau 8**). Un dosage moyen de 300 kg/m<sup>3</sup> de béton est utilisé. Le gisement de réduction attendu pour cette mesure devrait atteindre les **2 630 t CO<sub>2</sub>e**.

Concernant les travaux de chaussée, les enrobés bitume est le matériau le plus utilisé avec environ 48 485 tonnes sur l'ensemble du cycle de vie. Pour réduire son empreinte carbone, l'utilisation de béton bitumineux incorporant des taux de recyclage est préconisée. Sur la base des retours d'expérience, l'hypothèse de taux de recyclage moyen des enrobés peut atteindre 30%. Suivant cette hypothèse, cette mesure permettrait d'économiser jusqu'à **268 t CO<sub>2</sub>e**.

Ensuite, l'ensemble de consommations de métaux est d'environ 635 tonnes d'acier, 67 tonnes d'aluminium et 19 tonnes de cuivre. Dans ce cas, la mesure de réduction consiste à privilégier les équipements (panneaux, poteaux, etc.) en métal recyclé. En effet, le choix des métaux recyclés représente un fort levier de réduction des GES sans pour autant nécessiter une réévaluation technique préalable.

L'évaluation des réductions est faite à partir de la différence entre les FE pour les métaux neufs et les FE pour ceux issus du recyclage. D'après les estimations présentées dans le **Tableau 11**, la réduction de GES pourrait atteindre le **1 303 t CO<sub>2</sub>e**.

En plus des métaux, le projet nécessite de matières plastiques. Les postes les plus importants d'utilisation de plastique sont ceux de l'assainissement et des géotextiles qui compte un total de 729 tonnes, ce qui représente 2 124 t CO<sub>2</sub>e. La démarche de réduction devra privilégier les fabricants incorporant des plastiques recyclés. Cela permettrait de réduire de **1 328 t CO<sub>2</sub>e** le bilan GES du projet.

Tableau 11 : Détails de calcul des mesures de réduction préconisées concernant les matériaux

Inv. E3	Quantité	U.F.	F.E. (kg CO2e)	GES (t CO2e)	Nature
Aluminium, neuf	67	tonne	7 803	523	Réduites
Aluminium, recyclé	67	tonne	562	38	Mesures
Acier ou fer blanc [neuf]	635	tonne	2 211	1 404	Réduites
Acier ou fer blanc [recyclé]	635	tonne	938	596	Mesures
Aciers HA [ArcelorMittal]	10	tonne	1 230	13	Réduites
Aciers HA Xcarb [ArcelorMittal]	10	tonne	300	3,08	Mesures
Cuivre, neuf	19	tonne	1 445	28	Réduites
Cuivre, recyclé	19	tonne	1 304	25	Mesures
Ciment CEM II	5 693	tonne	736	4 190	Réduites
Ciment CEM III/B	5 693	tonne	274	1 560	Mesures
Grave, bitume 3	27 811	tonne	47	1 293	Réduites
Grave bitume, avec 30% REC	27 811	tonne	42	1 179	Mesures
Béton bitumineux	20 674	tonne	53	1 102	Réduites
Béton bitumineux, avec 30% REC	20 674	tonne	46	948	Mesures
Plastique, PVC [neuf]	233	tonne	1 870	435	Réduites
Plastique, PVC [recyclé]	233	tonne	403	94	Mesures
Plastique, PET [neuf]	41	tonne	3 270	133	Réduites
Plastique, PET [recyclé]	41	tonne	202	8,19	Mesures
Plastique, PEHD [neuf]	534	tonne	1 920	1 026	Réduites
Plastique, PEHD [recyclé]	534	tonne	202	108	Mesures
Plastique, moyenne [neuf]	56	tonne	2 383	134	Réduites
Plastique, moyenne [recyclé]	56	tonne	202	11	Mesures

### IX.2.2. Revalorisation en filière

Cette section est dédiée à l'analyse des mesures de réduction concernant la réutilisation sur site des déchets et la revalorisation de ceux qui sont évacués. En plus, une variante technique concernant le traitement des sols est aussi évaluée. En plus de déchets, les mesures évaluées modifient les distances et les volumes transportés. Le **Tableau 8** montre la liste de corps de métier abordés, les quantités de déchets et de fret produit ainsi que les émissions GES associées.

Tableau 8 : Récapitulatif des corps de métier, des déchets, du fret d'évacuation et des émissions GES

Inv. E3	U.F.	Métier	Σ Qté.	Σ GES (t CO2e)
Aluminium [hors recyclage]	tonne	Équipements	0,89	0,01
		Signalisation	27	0,21
Articulé, 40 à 44 T diesel routier, 7 % de biodiesel	tonne.km	Alimentation électrique	25 535	0,04
		Aménagements paysagers	21 312	0,03
		Chaussées et voiries	767 778	1,17

Inv. E3	U.F.	Métier	Σ Qté.	Σ GES (t CO2e)
		Équipements	7 164	0,01
		Génie civil	1 188	1,82
		Signalisation	482	
		Terrassements	26 415	0,02
		Travaux préparatoires	10 585	16
<b>Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]</b>	tonne	Travaux préparatoires	128	
		Travaux préparatoires	4 751	7,27
		Alimentation électrique	4,70	0,05
		Chaussées et voiries	464	5,11
		Équipements	58	0,64
<b>Bois de classe B [hors recyclage]</b>		Génie civil	26	0,29
		Travaux préparatoires	28 041	308
		Équipements	7,83	0,18
		Travaux préparatoires	9,16	0,21
		Équipements	4,15	0,02
<b>Déchets inertes [valorisation : collecte/fonctionnement]</b>		Alimentation électrique	608	5,48
		Équipements	4,13	0,04
		Génie civil	29 653	267
		Signalisation	176	1,58
		Terrassements	264 628	2 382
<b>Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]</b>		Travaux préparatoires	3 568	32
		Chaussées et voiries	18 729	431
		Génie civil	0,11	0,00
		Travaux préparatoires	86 437	1 988
		Aménagements paysagers	533	24
<b>Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]</b>		Travaux préparatoires	47	2,11
		Équipements	7,39	15
		Signalisation	79	158
		Travaux préparatoires	40	5,07
		Travaux préparatoires	16 580	0,00
<b>Déchets putrescibles [incinération]</b>		Alimentation électrique	25	0,20
		Équipements	95	0,76
		Signalisation	63	0,50
		Travaux préparatoires	386	3,08
		Chaussées et voiries	1,09	0,96
<b>DEEE, moyen (par défaut) [moyenne]</b>		Génie civil	32	28
		Travaux préparatoires	0,01	0,01
		Travaux préparatoires	200	13
		Travaux préparatoires	82 902	2,26
		Travaux préparatoires		
<b>DIS [stockage]</b>		Travaux préparatoires		
		Travaux préparatoires		
<b>Flux de comptabilité interne</b>		Travaux préparatoires		
		Travaux préparatoires		
<b>Métaux ferreux [hors recyclage]</b>		Travaux préparatoires		
		Travaux préparatoires		
<b>Plastique moyen [moyenne]</b>		Travaux préparatoires		
		Travaux préparatoires		
<b>Plâtre et autres contenant du gypse [hors recyclage]</b>		Travaux préparatoires		
		Travaux préparatoires		
<b>Rigide, 12 à 20 T diesel routier, 7 % de biodiesel</b>	tonne.km	Travaux préparatoires	82 902	2,26

Les corps de métier retenus correspondent à ceux dont les déchets produits peuvent être revalorisés lors des travaux de construction et de maintenance. Ainsi, la génération des déchets et leur réutilisation correspondent à la même période de travaux. Afin de montrer la totalité du gisement de réduction, les matériaux revalorisables sont comptabilisés dans sa totalité. Cependant, il est possible qu'une partie des déchets considérés ne puissent pas être revalorisés.

Les travaux de dégagement d'emprises (déboisement, débroussaillage) produisent 47 tonnes, soit 2,1 t CO<sub>2</sub>e. Les déchets verts ainsi engendrés peuvent faire l'objet d'une valorisation thermique en cogénération par exemple.

Pour les déchets verts, les émissions GES évitées sont calculées en prenant un PCI de 4 600 kWh/tonne de déchet et un rendement électrique et thermique de 35 et 53% respectivement. Du fait de sa proximité, le réseau de chaleur de la ville de Lyon est retenu. À défaut d'informations plus précises, la distance d'évacuation prise en compte lors de l'évaluation reste inchangée. Au total, les émissions évitées pour l'électricité et le réseau de vapeur et chaleur sont de **4,53 et 12 t CO<sub>2</sub>e** respectivement.

Ensuite, les déchets produits par les travaux de réfection des chaussées et la dépose des équipements (y compris glissière existante) et signalisation sont aussi intégrés. Concernant les gravats d'enrobés bitumineux, l'évacuation vers des centrales à enrobé pour être incorporés dans la formulation d'enrobés recyclés est à privilégier. Bien qu'à ce stade de l'étude les distances d'évacuation exactes restent inconnues, il est possible de réduire les émissions GES du traitement des déchets.

De la même façon, l'évacuation vers des filières de recyclage des déchets métalliques (équipements et signalisation) diminue le bilan GES du projet. Ainsi, grâce au recyclage de ces déchets, il est possible de réduire les émissions GES de **433 t CO<sub>2</sub>e** et d'en éviter **1 477 t CO<sub>2</sub>e** (voir Tableau 12).

Tableau 12 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des déchets

Inv. E3	Quantité	U.F.	F.E. (kg CO <sub>2</sub> e)	GES (t CO <sub>2</sub> e)	Nature
<b>Aluminium [hors recyclage]</b>	28	tonne	8,00	0,22	Réduites
<b>Aluminium [recyclage : tri/regroupement]</b>	28	tonne	4,80	0,13	Mesures
<b>Aluminium</b>	28	tonne	- 7 803	215	Évitées
<b>Métaux ferreux [hors recyclage]</b>	569	tonne	8,00	4,55	Réduites
<b>Métaux ferreux [recyclage : tri/regroupement]</b>	569	tonne	4,30	2,45	Mesures
<b>Métaux ferreux</b>	569	tonne	- 2 211	1 259	Évitées
<b>Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]</b>	18 729	tonne	23	431	Réduites
<b>Déchets putrescibles [incinération]</b>	47	tonne	45	2,11	Réduites
<b>Réseau de chaleur (Réseau Lyon 2018)</b>	114 464	kWh	0,10	12	Évitées
<b>Électricité</b>	75 590	kWh	0,06	4,53	Évitées

### IX.2.3. Revalorisation sur site

Concernant les travaux de démolition des emprises et ouvrages existants produisent 26 708 tonnes de gravats qui pourraient aussi être valorisés et réduire les besoins en matériaux d'apport. Pour ce faire, la mesure préconisée consiste à effectuer un concassage des gravats de béton pour son incorporation dans les couches de fondation.

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.

Ce concassage peut être soit réalisé sur site ou bien dans un centre spécialisé en appliquant le principe du double fret. Compte tenu des volumes estimés et de l'emplacement des travaux, la solution du double fret serait la mieux adaptée. Ainsi, le calcul du gisement d'économies de cette mesure prend en compte les hypothèses suivantes :

- distance de double fret de 40 km (dont l'aller est déjà comptabilisé dans le fret d'évacuation)
- consommation en carburant pour concassage de 83 litre/h avec un rendement de 300 tonne/h
- consommation en carburant pour manutention de 0.6 litre/m<sup>3</sup>

Les travaux de revalorisation des gravats de démolition devraient émettre environ 125 t CO<sub>2</sub>e mais permettrait d'éviter 716 t CO<sub>2</sub>e, soit une économie de **591 t CO<sub>2</sub>e**. Les détails de calcul sont montrés dans le **Tableau 13**.

**Tableau 13 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des gravats de démolition sur site**

Inv. E3	Quantité	U.F.	F.E. (kg CO <sub>2</sub> e)	GES (t CO <sub>2</sub> e)	Nature
<b>Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]</b>	28 069	tonne	11	309	Réduites
<b>Grave, non traitée</b>	28 069	tonne	15	407	Réduites
<b>Gazole non routier</b>	7 766	litre	3,17	25	Mesures
<b>Gazole non routier</b>	9 907	litre	3,17	31	Mesures
<b>Articulé, 40 à 44 T diesel routier, 7 % de biodiesel</b>	1 122 747	tonne.km	0,06	69	Mesures

D'autre part, les travaux de terrassements sont excédentaires mais au même temps requièrent de l'apport de matériaux granulaires. Ainsi, le réemploi des terres issus des déblais dans les couches de fondation des voiries pourrait être envisagé moyennant un traitement de stabilisation aux liants.

Pour cette mesure, le calcul des économies de GES réalisées grâce au traitement de déblais au liant hydraulique est basé sur les hypothèses suivantes :

- distance de fret de 10 km pour dépôt temporaire
- consommation en carburant pour malaxage des déchets de déblayage de 42 litre/h avec une cadence de 400 tonne/h
- consommation en carburant pour manutention de 0,6 litre/m<sup>3</sup>

D'après les calculs présentés dans le **Tableau 14** les émissions liées à la valorisation des déchets entraîne l'émission de 249 t CO<sub>2</sub>e mais permettraient de réduire 386 t CO<sub>2</sub>e, soit une économie nette de **137 t CO<sub>2</sub>e**.

**Tableau 14 : Détails de calcul des mesures concernant la revalorisation des déblais sur site**

Inv. E3	Quantité	U.F.	F.E. (kg CO <sub>2</sub> e)	GES (t CO <sub>2</sub> e)	Nature
<b>Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]</b>	24 978	tonne	9,00	225	Réduites
<b>Granulats [sortie carrière]</b>	24 978	tonne	4,00	100	Réduites
<b>Articulé, 40 à 44 T diesel routier, 7 % de biodiesel</b>	999 111	tonne.km	0,06	61	Réduites
<b>Articulé, 40 à 44 T diesel routier, 7 % de biodiesel</b>	249 778	tonne.km	0,06	15	Mesures
<b>Liant hydraulique routier S50</b>	500	tonne	395	197	Mesures
<b>Gazole non routier</b>	2 623	litre	3,17	8,30	Mesures
<b>Gazole non routier</b>	8 816	litre	3,17	28	Mesures

## X. CONCLUSION

Le bilan global initial des émissions de GES hors usagers est évalué à **42 440 t CO<sub>2</sub>e**, avec une incertitude de 3 192 t CO<sub>2</sub>e, soit 8% des émissions estimées. Quant aux émissions du matériel roulant, ces dernières devraient atteindre les **2 025 t CO<sub>2</sub>e** sur la période d'évaluation de 15 ans. Ces émissions incluent l'ensemble de GES engendrés par le cycle de vie des 12 trolleybus prévus (y compris l'électricité en phase d'exploitation).

Une première démarche de réduction a permis d'identifier des gisements d'économie carbone et sont rappelés ci-dessous :

- Matériaux bas-carbone : 5 711 t CO<sub>2</sub>e
- Valorisation des déchets en filière : 435 t CO<sub>2</sub>e
- Valorisation des déchets sur site : 728 t CO<sub>2</sub>e

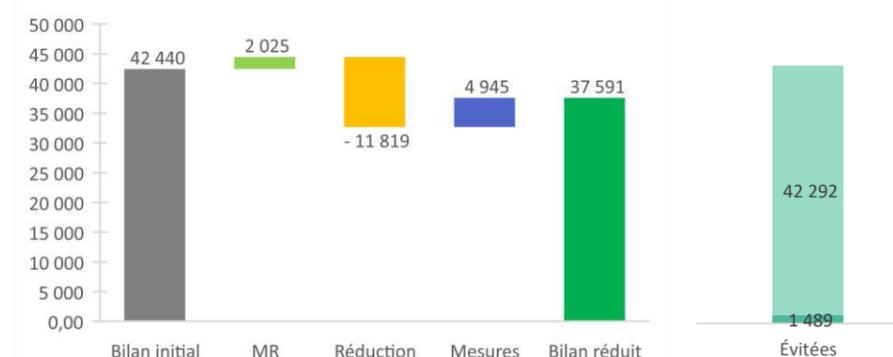
Soit au total **6 874 t CO<sub>2</sub>e** qui pourraient être réduites grâce à l'utilisation de matériaux bas-carbone l'incorporation des taux de recyclage et la valorisation des déchets en filière de traitement. En retranchant ces gisements aux émissions estimées, le coût carbone des infrastructures pourrait être ramené aux **35 566 t CO<sub>2</sub>e** sur le cycle de vie à horizon 2040 (37 591 t CO<sub>2</sub>e incluant le MR).

Les émissions du bilan initial et les variations apportées par les mesures de réduction sont montrées dans la **Figure 27**. En plus des variations, cette figure permet de comparer le bilan réduit des émissions GES du projet avec les émissions évitées.

**Figure 27 : Variation des émissions GES du bilan initial en appliquant les mesures de réduction (émissions directes et réduites).**

### BHNS Lyon, Récapitulatif du bilan GES

Émissions directes, réduites et évitées (t CO<sub>2</sub>e)



En considérant que le potentiel de gisement est exploité et que les émissions évitées des usagers sont atteintes, le projet présente un bilan GES favorable et pourrait atteindre la rentabilité carbone à l'horizon 2040.

## XI. ANNEXES

### XI.1. Annexe 1 : Inventaire du cycle de vie du matériel roulant

Phase	Composant	Paramètres	quantité	unité	valeur
Production	Chassis	lighTram@25	1,00	u	25 300
		lighTram@25	1,00	u	25
		lighTram@19	1,00	u	19
		lighTram@19	1,00	u	19 311
		bus Ecoinvent	1,00	u	10 585
		ratio masse trolleybus/bus	1,00	u	1,82
		acier, bus Ecoinvent	59%	1	6 283
		aluminium, bus Ecoinvent	16%	1	1 670
		correction, acier-acier	-63%	1	- 3973,171
		correction, acier-aluminium	30%	1	1 890
		lighTram@19, corrigé	1,00	u	15 510
		<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>
		bus production_RER_2021_Allocation, APOS	19 311	kg	3,64
	market for reinforcing steel_GLO_2021_Allocation, APOS	- 7248,538	kg	2,27	
	market for aluminium, cast alloy_GLO_2021_Allocation, APOS	3 448	kg	6,83	
	Motorisation	<b>Paramètres</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>valeur</b>
	Ratio puissance/poids				0,47
	Puissance trolleybus	1	u		260
	<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>	
	market for electric motor, vehicle_GLO_2021_Allocation, APOS	560	kg	4,85	
	Batterie	<b>Paramètres</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>valeur</b>
	Ratio énergie/poids				0,14
	Ratio hybride kWh/kw				17%
	Capacité batterie	1	u		43,93
	Poids batterie	1	u		320,00
	<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>	
	market for battery cell, Li-ion_GLO_2021_Allocation, APOS	320	kg	6,72	
Exploitation	Électricité	<b>Paramètres</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>valeur</b>
		Consommation tramway 62T, vide	62,00	tonne	3,14
		Consommation tramway 62T, par tonne de passager	1,00	tonne	0,0066
		Tramway passagers, CN	300,00	u	22500
		Energy Consumption, Trolleybus (sectional overhead wire)	19,31	tonne	3,30
		Trolleybus passagers, CN	50,00	u	3750
		Coefficient de consommation routier			3,29
		Consommation lighTram@19, vide	15,51	tonne	2,59

Phase	Composant	Paramètres	quantité	unité	valeur	
		Consommation lighTram@19, par tonne de passager	1,00	tonne	0,0217	
		Consommation lighTram@19, moyenne	50,00	u	2,6666	
		<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>	
		Electricité - 2021 - usage : Transports - consommation	1 382 691	kWh	0,05	
Maintenance	Châssis	<b>Paramètres</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>valeur</b>	
		Prix bus, diesel			78493	
		Prix bus, maintenance			10918	
		<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>	
		maintenance, bus_CH_2021_Allocation, APOS	1,82	u	8710	
	Batterie	<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>	
	market for battery cell, Li-ion_GLO_2021_Allocation, APOS	320	kg	6,72		
	treatment of used Li-ion battery, pyrometallurgical treatment_GLO_2021_Allocation, APOS	320	kg	1,42		
	Fin de vie	Châssis	<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>
	treatment of metal scrap, mixed, for recycling, unsorted, sorting_Europe without Switzerland_2021_Allocation, APOS		15 510	kg	0,04	
treatment of waste rubber, unspecified, municipal incineration_Europe without Switzerland_2021_Allocation, APOS	405		kg	3,16		
Motorisation	<b>Activités</b>		<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>	
treatment of metal scrap, mixed, for recycling, unsorted, sorting_Europe without Switzerland_2021_Allocation, APOS	560		kg	0,04		
Batterie	<b>Activités</b>	<b>quantité</b>	<b>unité</b>	<b>prg_émissions</b>		
treatment of used Li-ion battery, pyrometallurgical treatment_GLO_2021_Allocation, APOS	320	kg	1,42			

## XI.2. Annexe 2 : Facteurs d'émissions du matériel roulant

Activité	Facteur d'émission	Unité	Source
bus production_RER_2021_Allocation, APOS	38 500	kg CO <sub>2</sub> e/u	Ecoinvent 3.8
bus production_RER_2021_Allocation, APOS	3,64	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
market for aluminium, cast alloy_GLO_2021_Allocation, APOS	6,83	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
market for reinforcing steel_GLO_2021_Allocation, APOS	2,27	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
diesel engine production	523	kg CO <sub>2</sub> e/u	Ecoinvent 3.8
market for electric motor, vehicle_GLO_2021_Allocation, APOS	4,85	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
market for battery cell, Li-ion_GLO_2021_Allocation, APOS	6,72	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
maintenance, bus_CH_2021_Allocation, APOS	8 710	kg CO <sub>2</sub> e/u	Ecoinvent 3.8
maintenance, bus_CH_2021_Allocation, APOS	0,823	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
treatment of used Li-ion battery, pyrometallurgical treatment_GLO_2021_Allocation, APOS	1,42	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
treatment of metal scrap, mixed, for recycling, unsorted, sorting_Europe without Switzerland_2021_Allocation, APOS	0,038	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
treatment of waste rubber, unspecified, municipal incineration_Europe without Switzerland_2021_Allocation, APOS	3,16	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8
Electricité - 2021 - usage : Transports - consommation	0,047	kg CO <sub>2</sub> e/kWh	Base Carbone

### XI.3. Annexe 3 : Engins de chantier

Matériel	Carburant	Puissance (kW)	Charge moteur	Poids (t)	Distance (km)	Q (litre/h)	Huile (litre/h)
Broyeur de déchets verts Husmann HFG2	Gazole	403	50%	22	200	60	1,31
Bulldozer CAT D5	Gazole	127	50%	19	300	19	0,42
Camion benne 40T	Gazole	300	50%	32	100	45	0,98
Camion bras EB GC	Gazole	235	50%	16	150	35	0,77
Camion citerne 5000 L	Gazole	60	50%	35	50	9,26	0,20
Camion nacelle à bras articulé	Gazole	90	50%	3,00	150	14	0,30
Chargeuse sur pneus, L504	Gazole	34	50%	4,80	100	5,29	0,12
Chargeuse sur pneus, L514	Gazole	76	50%	9,50	100	11	0,25
Chargeuse sur pneus, L538	Gazole	128	50%	35	100	19	0,43
Compacteur	Gazole	120	50%	12	300	18	0,40
Compacteur à pneu	Gazole	75	50%	5,00	300	11	0,25
Compresseur 22000L	Gazole	220	50%	6,80	150	33	0,72
Compresseur 5 m3/min	Gazole	32	100%	1,00	100	9,95	0,22
DUMPER 600 L. FRONTA	Gazole	17	100%	1,40	100	5,45	0,12
Débroussailleuse	Essence	1,50	100%	0,01	100	1,29	0,03
Extrudeuse béton	Gazole	115	50%	15	150	17	0,38
Finisher	Gazole	150	50%	18	300	22	0,49
GRACO LineLazer V 250DC	Essence	9,69	100%	0,35	150	8,36	0,18
Galotrax/Tracteur forestier	Gazole	235	50%	11	300	35	0,77
Grenailleuse autoportée S320RD	Gazole	19	100%	0,90	150	5,93	0,13
Grue automotrice 25T	Gazole	156	50%	25	150	23	0,51
Hélicoptère	Essence	4,00	100%	0,07	50	3,45	0,08
Machine à projeter béton	Gazole	18	100%	42	500	5,65	0,12
Manuscopique	Gazole	75	50%	8,00	150	11	0,25
Marteau piqueur	Essence	1,86	100%	0,02	100	1,61	0,04
Mini-pelleteuse Komatsu PC55MR-5	Gazole	35	50%	5,50	100	5,44	0,12
Motoculteur	Essence	6,60	100%	0,15	150	5,69	0,13
Motoniveleuse	Gazole	141	50%	17	300	21	0,46
Nettoyeur HP CD100-250	Gazole	75	60%	2,00	300	14	0,30
Pelle sur pneus (CAT M315F)	Gazole	112	50%	23	100	17	0,37
Pelle à chenilles (CAT 320 EL)	Gazole	121	50%	23	300	18	0,40
Pelle à chenilles (brise-roche)	Gazole	74	50%	16	300	11	0,25
Poste d'oxycoupage (oxyacétylénique)	Acétylène-Oxygène	0,00	100%	1,00	300	0,00	0,00
Raboteuse W100 ET CFI	Gazole	257	50%	18	300	38	0,84
Rouleau léger plantation	Essence	6,00	100%	0,10	150	5,18	0,11

Matériel	Carburant	Puissance (kW)	Charge moteur	Poids (t)	Distance (km)	Q (litre/h)	Huile (litre/h)
Répandeuse	Gazole	240	50%	18	300	36	0,78
Scie chaussée FS400LV	Essence	8,00	100%	0,10	100	6,90	0,15
Sonnete H 90 R 2000	Gazole	15	100%	1,50	250	4,81	0,11
Tondeuse	Essence	6,00	100%	0,10	100	5,18	0,11
Toupie à béton	Gazole	294	50%	25	0,00	44	0,96
Tronçonneuse	Essence	1,45	100%	0,01	100	0,96	0,02

## XI.4. Annexe 4 : Ateliers de construction

Activité	Ouvriers	TU (h)	U.F.	Q essence (L/h)	Q gazole (L/h)	Q huile (L/h)
Bétonnage en hauteur	4	0,12	m3	0,00	50	1,47
Atelier de levage base vie	5	7,00	jour	0,00	17	0,77
Bétonnage horizontal	4	0,08	m3	3,50	22	1,03
Bétonnage vertical	4	0,08	m3	0,00	44	1,67
Coulage béton à l'extrudeuse	3	0,23	m3	0,00	17	0,38
Projection béton	4	6,47	m3	0,00	5,70	0,12
Coffrage surface (en hauteur)	4	0,03	m2	0,00	17	0,51
Déboisement	3	100	ha	2,30	35	0,82
Débroussaillage	3	120	ha	2,30	35	0,82
Trituration de déchets verts	3	0,02	tonne	0,00	60	1,31
Sciage équipements	2	1,00	h	6,90	0,00	0,15
Décapage	3	0,01	m3	0,00	29	1,38
Démolition bâtiment	4	0,05	m3 bâti	0,00	27	0,74
Démolition enrobés	4	0,01	m2	0,00	14	0,37
Démolition manuelle	2	0,60	m3	0,00	9,90	0,25
Démolition éléments BA	3	0,60	m3	0,00	14	0,37
Atelier de levage équipements	4	1,00	h	0,00	34	1,02
Dépose équipements linéaires	4	0,10	ml	0,00	17	0,77
Démolition chaussée	4	0,03	m2	0,00	14	0,37
Levage et pose d'équipements	2	1,00	h	0,00	7,00	0,77
Dépose manuelle équipements	3	0,12	u	0,00	8,70	0,77
Rabotage couche de roulement	4	0,00	m2	0,00	49	1,82
Levage éléments d'armature	5	0,50	cycle	0,00	17	0,51
Pose équipement léger en hauteur	2	0,22	u	0,00	6,80	0,30
Pose équipements linéaires	4	0,10	ml	0,00	22	0,87
Travaux en hauteur	2	1,00	h	0,00	6,80	0,30
Pose blocs béton préfa	4	0,10	u	0,00	17	0,77
Grenailage marquage au sol	2	0,01	m2	0,00	5,90	0,13
Marquage au sol	2	0,00	l	8,40	0,00	0,18
Mise en oeuvre GB/enrobés au finisseur	8	0,00	m2	0,00	34	0,74
Répandage couche d'acrochage	2	0,00	m2	0,00	27	0,78
Déblayage	3	0,02	m3	0,00	29	1,38
Déblayage (ciel ouvert)	3	0,07	m3	0,00	19	0,43
Déblayage (fouille)	3	0,12	m3	0,00	12	0,25
Remblayage (fouilles)	2	0,06	m3	0,00	31	0,85
Remblayage et couches de forme	2	0,05	m3	0,00	42	1,91
Épandage terre végétale	2	0,00	m2	0,00	18	0,46
Plantation arbres	3	0,66	u	0,00	11	0,24
Plantation arbustes	2	0,05	u	0,00	11	0,24

Activité	Ouvriers	TU (h)	U.F.	Q essence (L/h)	Q gazole (L/h)	Q huile (L/h)
Plantation gazon	5	0,058	m2	8,30	0,00	0,24
Tonte espaces verts	1	0,01	m2	5,20	0,00	0,11
Nettoyage à haute pression	3	1	h	0,00	14	0,30

## XI.5. Annexe 5 : Métrés des intrants

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité
Accès temporaires	Construction	Enrobés bitumineux	m3	790
		Grave, non traitée	m3	1975
Assainissement	Construction	Béton C20/25 X0 CEM III/A	m3	2789
		Bitume	tonne	37
		Chambre de visite rectangulaire [L=1,2m]	ml	150
		Dalle de couverture de chambre	m2	181
		Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	10766
		Géotextile en polypropylène (300g/m²)	m2	12993
		Granulats, roche meuble [sortie carrière]	m3	372
		Grave, non traitée	m3	2835
		Grille d'assainissement	m2	20
		Regard de visite en béton [Dint= 1000mm]	u	59
		Regards, cadres, chambres	tonne	67
		Rehausse rectangulaire [L=1,2]	ml	50
		Système de drainage et d'infiltration Drenotube	ml	6497
		Tête réductrice [D=1000mm]	ml	41
	Maintenance	Bitume	tonne	19
		Granulats, roche meuble [sortie carrière]	m3	186
Chantier et base de vie	Construction	Bâtiment industriel, structure en béton	m2	90
		Câble cuivre basse tension [section conductrice entre 95 mm²/ 1G]	ml	1500
		Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	855
		Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml	1500
		Grave, non traitée	m3	450
		Réseaux d'adduction d'eau en PVC [D entre 110 et 200 mm]	ml	1500
Chaussée en béton	Construction	Béton pour Voirie en béton C35/45 XF2 CEM III/A	m3	2157
		Béton, C25/30CEM II	m3	1322
		Émulsion 60%	tonne	28
Couche d'assise	Construction	Émulsion 60%	tonne	117
		Grave, bitume 3	m3	14374
Couche de surface	Construction	Béton bitumineux	tonne	9548
		Émulsion 60%	tonne	117
		Béton bitumineux	tonne	9845
	Maintenance	Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]	tonne	14322
		Émulsion 60%	tonne	175
Dégagement d'emprises	Construction	Déchets putrescibles [incinération]	tonne	47
		Flux de comptabilité interne	tonne	1496
Démolition	Construction	Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	23015
		Bois de classe B [hors recyclage]	tonne	9
		Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	3568
		Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]	tonne	86437
		DIS [stockage]	tonne	40

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité	
		Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	385	
		Plâtre et autres contenant du gypse [hors recyclage]	tonne	200	
		(vide)	(vide)		
Dévoisement de réseaux	Construction	Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	3689	
		Flux de comptabilité interne	tonne	1800	
		Plastique moyen [moyenne]	tonne	0	
Éclairage	Construction	Armoire électrique	u	17	
		Câble cuivre BT [section 16 mm²/ 5G]	ml	6060	
		Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3	19	
		Lampadaire pour éclairage	u	606	
		Luminaires pour éclairage fonctionnel (54 W)	u	606	
		Mât de lampadaire d'éclairage	u	154	
		Exploitation	2018 - usage : Eclairage public	kWh	1791639
			Maintenance	Aluminium [hors recyclage]	tonne
		Armoire électrique		u	13
		Câble cuivre BT [section 16 mm²/ 5G]		ml	4545
	DEEE, moyen (par défaut) [moyenne]	tonne		5	
	Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3		14	
	Lampadaire pour éclairage	u		455	
	Luminaires pour éclairage fonctionnel (54 W)	u	455		
	Mât de lampadaire d'éclairage	u	116		
	Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	12		
Équipements d'exploitation	Construction	Acier galvanisé, tôles [ArcelorMittal]	tonne	5	
		Acier inoxydable, recyclé 40%	tonne	4	
		Aluminium, neuf	tonne	1	
		Béton C20/25	m3	5	
		Câble cuivre basse tension [section conductrice entre 95 mm²/ 1G]	ml	1380	
		Câble cuivre BT [section 16 mm²/ 5G]	ml	180	
		Caméra de surveillance	u	35	
		Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	4	
		Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3	2	
		Equipements en béton préfabriqué	m3	2	
		Equipements pour la gestion de l'image de vidéosurveillance (1 écran de visualisation et enregistrement de 4 flux)	u	2	
		Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml	1380	
		Fibre optique, 12FO	ml	180	
		Flux de comptabilité interne	tonne	8	
		Gaine TPC en polyéthylène [Diamètre ext. = 63 mm]	ml	1400	
		Gaines et fourreaux en PVC [DN entre 100 et 200mm] ID Mlab	ml	360	
		Granulats, roche meuble [sortie carrière]	tonne	0	
		Machines et équipements	k€	259	
		Massifs pour équipement	u	35	
		PMV 294 W, hors caisson	m2	14	

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité
		Produits informatiques, électroniques et optiques	k€	204
		Résine époxy, colle	kg	4
		Téléphone fixe	u	18
	Exploitation	2018 - mix moyen	kWh	19868
		2018 - usage : Transports	kWh	525390
		2020 - mix moyen	kWh	3845554
	Maintenance	Acier inoxydable, recyclé 40%	tonne	5
		Aluminium [hors recyclage]	tonne	1
		Câble cuivre basse tension [section conductrice entre 95 mm <sup>2</sup> / 1G]	ml	1050
		Câble cuivre BT [section 16 mm <sup>2</sup> / 5G]	ml	270
		Caméra de surveillance	u	55
		DEEE, moyen (par défaut) [moyenne]	tonne	0
		Equipements pour la gestion de l'image de vidéosurveillance (1 écran de visualisation et enregistrement de 4 flux)	u	7
		Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml	1050
		Fibre optique, 12FO	ml	270
		Gaine TPC en polyéthylène [Diamètre ext. = 63 mm]	ml	2100
		Gaines et fourreaux en PVC [DN entre 100 et 200mm] ID Mlab	ml	540
		Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	4
		Poteau panneau de police acier galvanisé	u	53
		Téléphone fixe	u	27
Espaces verts	Construction	Arbres (Quercus ilex φ35cm)	u	511
		Arbuste	u	4785
		Eau d'arrosage	m3	1647
		Flux de comptabilité entrant	tonne	35786
		Mélange de semences pelouse	kg	682
	Maintenance	Déchets putrescibles [incinération]	tonne	511
		Eau d'arrosage	m3	3972
Études d'ingénierie	Construction	Assurance, services bancaires, conseil et honoraires	k€	5240
		Services (imprimerie, publicité, architecture et ingénierie, maintenance multi-technique des bâtiment)	k€	2238
Fouilles et remblais techniques	Construction	Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	18158
		Géotextile en polypropylène (300g/m <sup>2</sup> )	m2	85982
		Granulats [sortie carrière]	tonne	18158
		Grave, non traitée	m3	42991
		Système de drainage et d'infiltration Drenotube	ml	8598
Génie Civil	Construction	Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	513
		Bloc en béton creux, joints épais	m2	284
		Canalisation AEP PEHD D=160mm	ml	252
		Collecteur béton φ400mm	ml	1984
		Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]	tonne	3
		Eau pour construction	tonne	6032
		Étanchéité liquide époxy (2 mm)	m2	15079

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité		
		Fibre de verre [neuf]	kg	2073		
		Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	173		
		Mortier de montage maçonnerie	m2	284		
		Mortiers de réparation du béton	kg	25182		
		Plastique moyen [moyenne]	tonne	1		
		Polyuréthane	tonne	0		
		Soude caustique	tonne	20		
		Vanne hydraulique φ200mm	u	63		
		Vanne hydraulique φ400mm	u	496		
		Îlots, quais et dalles techniques	Construction	Aciers HA [ArcelorMittal]	tonne	9
				Béton C20/25	m3	3573
				Béton de propreté	m3	30
				Béton pour fondation XA3 C40/50	m3	74
				Béton, C25/30CEM II	m3	603
				Bordure granit (20x25)	ml	4528
				Bordure granit (20x30)	ml	14756
Bordure granit (20x50)	ml			7313		
Bordure granit (25x30)	ml			6261		
Bordure granit (8x20)	ml			10715		
Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne			228		
Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3			120		
Géotextile en polypropylène (300g/m <sup>2</sup> )	m2			444		
Granulats, roche meuble [sortie carrière]	m3			76		
Outils et équipements divers acier	tonne	0				
	Maintenance	Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	2		
		Mortiers de réparation du béton	kg	1978		
Lignes aériennes	Construction	Acier galvanisé, tôles [ArcelorMittal]	tonne	4		
		Câble aluminium HTA monophasé 12/24 kV [EDRMAX]	ml	2300		
		Coffret de commande électronique	kg	70		
		Feeder en aluminium [section 240 mm <sup>2</sup> ]	km	8		
		Ligne de contact en cuivre [section 102 mm <sup>2</sup> ]	km	21		
Locaux techniques	Construction	Bâtiments industriel béton, E+C-	m2	195		
	Exploitation	2018 - usage : chauffage	kWh	136510		
		2020 - mix moyen	kWh	73125		
		Voiture, motorisation moyenne 2018	km	32850		
Mobilier urbain	Construction	Acier galvanisé, tôles [ArcelorMittal]	tonne	51		
		Acier inoxydable, recyclé 40%	tonne	35		
		Bois d'oeuvre [fabrication]	tonne	10		
		Double vitrage de sécurité [8 à 10mm]	m2	198		
		Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3	68		
		Equipements en béton préfabriqué	m3	33		
		Fonte	tonne	9		
		Garde-corps acier remplissage tubes	ml	1160		
				Acier galvanisé, tôles [ArcelorMittal]	tonne	39

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité
		Acier inoxydable, recyclé 40%	tonne	26
		Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	58
		Bois de classe B [hors recyclage]	tonne	8
		Bois d'oeuvre [fabrication]	tonne	8
		Déchets inertes [valorisation : collecte/fonctionnement]	tonne	4
		Double vitrage de sécurité [8 à 10mm]	m2	149
		Equipements en béton préfabriqué	m3	25
		Fonte	tonne	7
		Garde-corps acier remplissage tubes	ml	870
		Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	74
Parking et annexes	Construction	Béton bitumineux	m3	100
		Émulsion 60%	tonne	3
		Grave, non traitée	m3	251
	Maintenance	Béton bitumineux	m3	150
		Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]	tonne	353
		Émulsion 60%	tonne	4
		Grave, non traitée	m3	75
Réseaux humides	Construction	Canalisation AEP PVC D=1000mm	ml	5
		Canalisation AEP PVC D=110mm	ml	6275
		Canalisation AEP PVC D=400mm	ml	2830
		Collecteur béton φ400mm	ml	8980
		Collecteur béton φ600mm	ml	194
		Flux de comptabilité interne	tonne	32740
		Granulats, roche meuble [sortie carrière]	tonne	8012
		Grillage avertisseur (polyéthylène, largeur=20 cm)	ml	19012
		Plastique moyen [moyenne]	tonne	14
		Tête de ponts DN400-1000	u	12
		Tuyau ovoïde en béton T180	ml	1193
		Tuyau ovoïde en béton T200	ml	182
		Réseaux secs	Construction	Béton C20/25
Bloc de jonction	u			26
Boitiers et dispositifs électroniques	kg			21
Câble aluminium HTA monophasé 12/24 kV [EDRMAX]	ml			40488
Câble cuivre basse tension [section conductrice entre 95 mm²/ 1G]	ml			37726
Chambre de télécommunication en béton	u			183
Convertisseur AC/DC	u			8
Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne			14909
Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml			51208
Gaine TPC en polyéthylène [Diamètre ext. = 63 mm]	ml			32039
Gaines et fourreaux en PEHD [DN entre 100 et 200mm]	ml			37554
Gaines et fourreaux en PVC [DN entre 100 et 200mm] ID Mlab	ml			40488
Granulats, roche meuble [sortie carrière]	tonne			7424
Grillage avertisseur (polyéthylène, largeur=20 cm)	ml			56867

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité		
		Plynnox, détection de réseaux	ml	44949		
Signalisation dynamique	Construction	Aluminium, neuf	tonne	11		
		Câble cuivre BT [section 16 mm²/ 5G]	ml	28400		
		Coffret de commande électronique	u	1420		
		Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3	114		
		Feux de signalisation, 4,5 W	u	2840		
		Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml	28400		
		Poteau de fixation routier	u	1420		
		2018 - usage : Transports	kWh	1679292		
		Maintenance	Aluminium [hors recyclage]	tonne	11	
	Aluminium, neuf		tonne	17		
	Câble cuivre BT [section 16 mm²/ 5G]		ml	14200		
	Coffret de commande électronique		u	2130		
	DEEE, moyen (par défaut) [moyenne]		tonne	67		
	Feux de signalisation, 4,5 W		u	4260		
			Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml	14200	
		Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	26		
		Poteau de fixation routier	u	710		
Signalisation horizontale	Construction	Enduit à froid projeté (ACV entreprise SIGNATURE)	litre	89687		
		Polyuréthane	tonne	12		
	Maintenance	Enduit à froid projeté (ACV entreprise SIGNATURE)	litre	269060		
Signalisation temporaire	Construction	2018 - usage : Eclairage public	kWh	75000		
		2018 - usage : Transports	kWh	2966		
		Balises type K5C (PEHD neuf)	u	752		
		Cône de signalisation lesté (PEHD neuf)	u	564		
		Enduit à froid projeté (ACV entreprise SIGNATURE)	litre	1881		
		Lestage temporaire PVC	u	752		
		Panneaux de police/panonceaux (tôle alu anodisé)	u	113		
		Séparateur en béton type GBA	ml	941		
				Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	173
				Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3	96
Signalisation verticale	Construction	Panneaux de signalisation [m2]	m2	1159		
		Poteau de fixation routier	u	1200		
		Aluminium [hors recyclage]	tonne	13		
		Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	32		
	Maintenance	Panneaux de signalisation [m2]	m2	1739		
		Poteau de fixation routier	u	1800		
				Armoire électrique	m3	4
Sous-stations	Construction	Armoire électrique, polycarbonate	m3	24		
		Batterie lithium-ion, Tesla	kg	1000		
		Béton C20/25	m3	555		
		Boitiers et dispositifs électroniques	kg	2940		
		Câble cuivre basse tension [section conductrice entre 95 mm²/ 1G]	ml	57350		

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité
		Câble cuivre BT [section 16 mm²/ 5G]	ml	4000
		Chambre de télécommunication en béton	u	10
		Convertisseur AC/DC	u	4
		Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	2812
		Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml	9250
		Fibre optique, 12FO	ml	600
		Gaine TPC en polyéthylène [Diamètre ext. = 63 mm]	ml	2600
		Gaines et fourreaux en PEHD [DN entre 100 et 200mm]	ml	18500
		Granulats, roche meuble [sortie carrière]	tonne	1665
		Grillage avertisseur (polyéthylène, largeur=20 cm)	ml	10175
		Plynnox, détection de réseaux	ml	9250
		Transformateur [p=1000 kVA]	u	4
		Transformateur [p=500 kVA]	u	2
	Exploitation	2020 - mix moyen	kWh	34332411
<b>Supports et poutres</b>	Construction	2018 - usage : Autres (BTP. recherche. armée. etc.)	kWh	4423
		Acétylène en bouteille	m3	5308
		Acier galvanisé, tôles [ArcelorMittal]	tonne	245
		Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	4
		Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	352
		Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3	195
		Éléments en céramique	kg	1517
		Mortiers de réparation du béton	kg	3560
		Oxygène en bouteille	m3	4825
	Maintenance	2018 - usage : Autres (BTP. recherche. armée. etc.)	kWh	1327
		Acétylène en bouteille	m3	1592
		Acier galvanisé, tôles [ArcelorMittal]	tonne	8
		Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	2
		Éléments en céramique	kg	455
		Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	25
		Oxygène en bouteille	m3	1448
<b>Terrassement de surface</b>	Construction	Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	197627
<b>Voies douces</b>	Construction	Béton bitumineux	m3	2914
		Eau pour construction	tonne	61
		Émulsion 60%	tonne	73
		Granulats [sortie carrière]	tonne	9506
		Granulats concassés	tonne	874
		Granulats, roche meuble [sortie carrière]	tonne	344
		PP - polypropylène	tonne	4
		Résine méthacrylate	kg	60695
		Revêtement en granit (15cm)	m2	3823
	Maintenance	Béton bitumineux	m3	2185
Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]		tonne	464	
Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]		tonne	5836	

E.F.	Phase	Inv. E3	U.F.	Quantité
		Eau pour construction	tonne	46
		Émulsion 60%	tonne	55
		Granulats [sortie carrière]	tonne	7129
		Granulats concassés	tonne	656
		Granulats, roche meuble [sortie carrière]	tonne	103
		Plastique moyen [moyenne]	tonne	1
		PP - polypropylène	tonne	1
		Résine méthacrylate	kg	45521
		Revêtement en granit (15cm)	m2	1147

## XI.6. Annexe 6 : Base de données FE

Inv. E1	Inv. E2	Inv. E3	U.F.	M.U. (kg)	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Incertitude	Source
Déchets	Déchets bâtiment	Aluminium [hors recyclage]	tonne	1 000	0,00	0,00	8,00	20%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets bâtiment	Bois de classe B [hors recyclage]	tonne	1 000			23	30%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets bâtiment	Béton, briques, tuiles et céramiques [hors recyclage]	tonne	1 000			11	30%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets bâtiment	Déchets inertes [valorisation : collecte/fonctionnement]	tonne	1 000			5,58	14%	SEDDRe
Déchets	Déchets bâtiment	Déchets inertes en mélange (Gravats) [hors recyclage]	tonne	1 000			9,00	30%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets bâtiment	Déchets non dangereux en mélange (DIB) [hors recyclage]	tonne	1 000			23	30%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets bâtiment	Flux de comptabilité interne	tonne	1 000			0,00	5%	InfraCost
Déchets	Déchets bâtiment	Métaux [hors recyclage]	tonne	1 000			8,00	20%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets bâtiment	Métaux ferreux [hors recyclage]	tonne	1 000	0,00	0,00	8,00	20%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets bâtiment	Plâtre et autres contenant du gypse [hors recyclage]	tonne	1 000			65	30%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets dangereux	DIS [stockage]	tonne	1 000			128	50%	Base Carbone 20
Déchets	Déchets plastiques	Plastique moyen [moyenne]	tonne	1 000			877	50%	Base Carbone
Déchets	Ordures ménagères	DEEE, moyen (par défaut) [moyenne]	tonne	1 000			1 995	100%	Base Carbone 20
Déchets	Ordures ménagères	Déchets putrescibles [incinération]	tonne	1 000			45	50%	Base Carbone 20
Déplacements	Routiers	Autobus moyen, agglomération de plus de 250 000 habitants	passager .km				0,13	60%	Base Carbone 20
Déplacements	Routiers	Voiture, motorisation moyenne 2018	km				0,19	60%	Base Carbone 20
Fret	Routier	Articulé, 40 à 44 T diesel routier, 7 % de biodiesel	tonne.km		0,05	0,01		70%	Base Carbone 20
Fret	Routier	Rigide, 12 à 20 T diesel routier, 7 % de biodiesel	tonne.km		0,11	0,03		70%	Base Carbone 20
Fret	Routier	Rigide, 26 à 32 T diesel routier, 7 % de biodiesel	tonne.km		0,07	0,02		70%	Base Carbone 20
Immobilisations	Bâtiments/EP	Bâtiment industriel, structure en béton	m2	0,00			825	50%	Base Carbone 20
Immobilisations	Véhicules, Machines et Outils	Outils et équipements divers acier	tonne	1 000			1 680	30%	DIOGEN
Immobilisations	Véhicules, Machines et Outils	Véhicules fabrication	tonne				5 500	50%	Base Carbone 20
Intrants	Acier	Acier galvanisé, tôles [ArcelorMittal]	tonne	1 000			2 560	30%	IBU eV, EPD
Intrants	Acier	Acier inoxydable, recyclé 40%	tonne	1 000			3 680	30%	ISSF
Intrants	Acier	Aciers HA [ArcelorMittal]	tonne	1 000			1 230	30%	IBU eV, EPD
Intrants	Acier	Armoire électrique	m3	3 990	0,00	0,00	10 813	50%	INIES
Intrants	Acier	Armoire électrique	u	16			44	50%	INIES
Intrants	Acier	Fonte	tonne	1 000			1 516	30%	Ecoinvent
Intrants	Acier	Garde-corps acier remplissage tubes	ml	14			61	30%	FFB
Intrants	Acier	Grille d'assainissement	m2	18	0,00	0,00	45	30%	IBU eV, EPD
Intrants	Acier	Mât de lampadaire d'éclairage	u	79	0,00	0,00	175	10%	Base Carbone 20
Intrants	Acier	Poteau de fixation routier	u	18	0,00	0,00	46	30%	IBU eV, EPD
Intrants	Acier	Poteau panneau de police acier galvanisé	u	10	0,00	0,00	26	30%	IBU eV, EPD
Intrants	Acier	Vanne hydraulique $\phi$ 200mm	u	54	0,00	0,00	84	29%	Ecoinvent;Base Carbone 20
Intrants	Acier	Vanne hydraulique $\phi$ 400mm	u	342	0,00	0,00	532	29%	Ecoinvent;Base Carbone 20
Intrants	Aluminium	Aluminium, neuf	tonne	1 000			7 803	50%	Base Carbone
Intrants	Aluminium	Feeder en aluminium [section 240 mm <sup>2</sup> ]	km	648	0,00	0,00	5 251	48%	Base Carbone;Ecoinvent
Intrants	Aluminium	Lampadaire pour éclairage	u	35	0,00	0,00	273	50%	Base Carbone
Intrants	Aluminium	Panneaux de police/panonceaux (tôle alu anodisé)	u	3,00			45	30%	Bilan produit
Intrants	Aluminium	Panneaux de signalisation [m2]	m2	7,69	0,00	0,00	115	30%	Bilan produit

Inv. E1	Inv. E2	Inv. E3	U.F.	M.U. (kg)	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Incertitude	Source
Intrants	Asphalte	Bitume	tonne	1 000			285	30%	Colas
Intrants	Asphalte	Émulsion 60%	tonne	1 000			221	30%	Colas
Intrants	Autres métaux	Ligne de contact en cuivre [section 102 mm²]	km	908	0,00	0,00	1 888	36%	Base Carbone;Ecoinvent
Intrants	Bois	Bois d'oeuvre [fabrication]	tonne	1 000			37	50%	Base Carbone 20
Intrants	Bâtiments/EP	Bâtiments industriel béton, E+C-	m2				926	15%	E+C-
Intrants	Béton hydraulique	Béton C20/25	m3	2 299	0,00	0,00	186	34%	INIES;Base Carbone 20
Intrants	Béton hydraulique	Béton C20/25 X0 CEM II/A	m3	2 422			149	30%	
Intrants	Béton hydraulique	Béton de propreté	m3	2 418			126	50%	INIES
Intrants	Béton hydraulique	Béton pour Voirie en béton C35/45 XF2 CEM II/A	m3	2 305			260	50%	INIES
Intrants	Béton hydraulique	Béton pour fondation XA3 C40/50	m3	2 374			304	30%	DIOGEN
Intrants	Béton hydraulique	Béton, C25/30CEM II	m3	2 300	0,00	0,00	202	20%	Base Carbone 20
Intrants	Béton préfabriqué	Bloc en béton creux, joints épais	m2	173			8,53	30%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Chambre de télécommunication en béton	u	681			136	30%	CERIB
Intrants	Béton préfabriqué	Chambre de visite rectangulaire [L=1,2m]	ml	2 415	0,00	0,00	338	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Collecteur béton φ400mm	ml	230	0,00	0,00	30	30%	CERIB
Intrants	Béton préfabriqué	Collecteur béton φ600mm	ml	440	0,00	0,00	57	30%	CERIB
Intrants	Béton préfabriqué	Dalle de couverture de chambre	m2	853	0,00	0,00	119	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Éléments de fondation en béton préfabriqué	m3	2 400			283	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Equipements en béton préfabriqué	m3	2 350	0,00	0,00	237	30%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Massifs pour équipement	u	250	0,00	0,00	29	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Regard de visite en béton [Dint= 1000mm]	u	1 989			278	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Regards, cadres, chambres	tonne	1 000	0,00	0,00	140	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Rehausse rectangulaire [L=1,2]	ml	1 944	0,00	0,00	272	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Séparateur en béton type GBA	ml	625	0,00	0,00	74	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Tuyau ovoïde en béton T180	ml	2 580	0,00	0,00	337	30%	CERIB
Intrants	Béton préfabriqué	Tuyau ovoïde en béton T200	ml	2 997	0,00	0,00	392	30%	CERIB
Intrants	Béton préfabriqué	Tête de ponts DN400-1000	u	930	0,00	0,00	130	50%	INIES
Intrants	Béton préfabriqué	Tête réductrice [D=1000mm]	ml	893	0,00	0,00	125	50%	INIES
Intrants	Céramique/terre cuite	Éléments en céramique	kg	1,00			1,46	50%	INIES
Intrants	Divers	Eau d'arrosage	m3	1 000	0,30	0,08	0,00	5%	Base Carbone 20;InfraCost
Intrants	Divers	Eau du robinet	litre	1,00			0,00	30%	Base Carbone
Intrants	Divers	Eau pour construction	tonne	1 000			0,30	30%	Colas
Intrants	Divers	Flux de comptabilité entrant	tonne	1 000			0,00	5%	InfraCost
Intrants	Divers	Flux de comptabilité interne	tonne	1 000			0,00	5%	InfraCost
Intrants	Divers	Soude caustique	tonne	1 000			587	50%	ADEME
Intrants	Enduits/revêtements résine	Enduit à froid projeté (ACV entreprise SIGNATURE)	litre	1,30			5,64	30%	Signature
Intrants	Enduits/revêtements résine	Étanchéité liquide époxy (2 mm)	m2	3,00			20	50%	INIES
Intrants	Enduits/revêtements résine	Résine époxy, colle	kg	1,00			7,28	30%	Ecoinvent
Intrants	Enduits/revêtements résine	Résine méthacrylate	kg	1,00			7,35	50%	Ecoinvent
Intrants	Enrobés bitume	Béton bitumineux	m3	2 350	0,00	0,00	125	20%	Base Carbone 20
Intrants	Enrobés bitume	Béton bitumineux	tonne	1 000	0,00	0,00	53	20%	Base Carbone 20
Intrants	Enrobés bitume	Enrobés bitumineux	m3	2 350	0,00	0,00	125	20%	Base Carbone 20
Intrants	Enrobés bitume	Grave, bitume 3	m3	2 350	0,00	0,00	109	20%	Base Carbone 20
Intrants	Graviers/granulats	Bordure granit (20x25)	ml	135	0,00	0,00	45	50%	INIES

Inv. E1	Inv. E2	Inv. E3	U.F.	M.U. (kg)	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Incertitude	Source
Intrants	Graviers/granulats	Bordure granit (20x30)	ml	162	0,00	0,00	54	50%	INIES
Intrants	Graviers/granulats	Bordure granit (20x50)	ml	270	0,00	0,00	90	50%	INIES
Intrants	Graviers/granulats	Bordure granit (25x30)	ml	203	0,00	0,00	67	50%	INIES
Intrants	Graviers/granulats	Bordure granit (8x20)	ml	43,2	0	0	14,32	50%	INIES
Intrants	Graviers/granulats	Granulats [sortie carrière]	tonne	1000			4	50%	Base Carbone 20
Intrants	Graviers/granulats	Granulats concassés	tonne	1000			10	30%	Athena & IVL
Intrants	Graviers/granulats	Granulats, roche meuble [sortie carrière]	m3	1700	0	0	3,944	50%	Base Carbone 20
Intrants	Graviers/granulats	Granulats, roche meuble [sortie carrière]	tonne	1000			2,32	50%	Base Carbone 20
Intrants	Graviers/granulats	Grave, non traitée	m3	1700	0	0	24,65	20%	Base Carbone 20
Intrants	Graviers/granulats	Grave, non traitée	tonne	1000			14,5	20%	Base Carbone 20
Intrants	Graviers/granulats	Revêtement en granit (15cm)	m2	405			45	50%	INIES
Intrants	Liant hydraulique	Mortier de montage maçonnerie	m2	25			2,98	30%	INIES
Intrants	Liant hydraulique	Mortiers de réparation du béton	kg	1	0	0	0,377844	30%	SNMI
Intrants	Matériel électronique	Batterie lithium-ion, Tesla	kg	1			6,72	20%	Ecoinvent
Intrants	Matériel électronique	Bloc de jonction	u	1			0,0914	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Boîtiers et dispositifs électroniques	kg	1			193,2773	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Caméra de surveillance	u	10			113	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Coffret de commande électronique	kg	1			17,08475	30%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Coffret de commande électronique	u	0,295			5,04	30%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Convertisseur AC/DC	u	0,714			138	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Câble aluminium HTA monophasé 12/24 kV [EDRMAX]	ml	1,902			5,63	30%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Câble cuivre BT [section 16 mm²/ 5G]	ml	1,617			2,79	30%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Câble cuivre basse tension [section conductrice entre 95 mm²/ 1G]	ml	3,4			8,73	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Equipements pour la gestion de l'image de vidéosurveillance (1 écran de visualisation et enregistrement de 4 flux)	u	17,77			797	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Feux de signalisation, 4,5 W	u	6,629857	0	0	17,48236	19%	INIES;Base Carbone 20
Intrants	Matériel électronique	Fibre optique (Réseaux) [D=4 à 8,5 mm]	ml	0,071			0,223	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Fibre optique, 12FO	ml	0,111			0,374	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Luminaires pour éclairage fonctionnel (54 W)	u	8,4			635	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	PMV 294 W, hors caisson	m2	13,05115	0	0	154,0035	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Plynox, détection de réseaux	ml	0,014	0	0	0,04448	25%	ISSF;Base Carbone 20
Intrants	Matériel électronique	Transformateur [p=1000 kVA]	u	2505			20000	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Transformateur [p=500 kVA]	u	1349			10800	50%	INIES
Intrants	Matériel électronique	Téléphone fixe	u	0,8			17	20%	Base Carbone
Intrants	Plastiques/polymères	Armoire électrique, polycarbonate	m3	32,09078	0	0	375,7854	50%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Balises type K5C (PEHD neuf)	u	1,4	0	0	2,688	20%	Base Carbone 20
Intrants	Plastiques/polymères	Canalisation AEP PEHD D=160mm	ml	4,6			10,3	30%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Canalisation AEP PVC D=1000mm	ml	116	0	0	263,9784	30%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Canalisation AEP PVC D=110mm	ml	3,9			8,41	30%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Canalisation AEP PVC D=400mm	ml	18,5			42,1	30%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Cône de signalisation lesté (PEHD neuf)	u	5,4	0	0	10,368	20%	Base Carbone 20
Intrants	Plastiques/polymères	Gaine TPC en polyéthylène [Diamètre ext. = 63 mm]	ml	1,02			4,19	50%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Gaines et fourreaux en PEHD [DN entre 100 et 200mm]	ml	3,88			16,1	50%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Gaines et fourreaux en PVC [DN entre 100 et 200mm]	ml						
Intrants	Plastiques/polymères	Grillage avertisseur (polyéthylène, largeur=20 cm)	ml	0,016	0	0	0,05232	20%	Base Carbone 20
Intrants	Plastiques/polymères	Géomembrane PEHD	m2	1,92	0	0	3,6864	20%	Base Carbone 20

Inv. E1	Inv. E2	Inv. E3	U.F.	M.U. (kg)	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Incertitude	Source
Intrants	Plastiques/polymères	Géotextile en polypropylène (300g/m²)	m2	0,3			1,24	50%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Lestage temporaire PVC	u	28	0	0	52,36	20%	Base Carbone 20
Intrants	Plastiques/polymères	PP - polypropylène	tonne	1000			2000	100%	Base Carbone 20
Intrants	Plastiques/polymères	Polyuréthane	tonne	1000	0	0	3518,747	54%	Base Carbone 20
Intrants	Plastiques/polymères	Réseaux d'adduction d'eau en PVC [D 110 et 200 mm]	ml	3,5			30,6	50%	INIES
Intrants	Plastiques/polymères	Système de drainage et d'infiltration Drenotube	ml	2,48			6,96	50%	INIES
Intrants	Ratios	Assurance, services bancaires, conseil et honoraires	k€				110	80%	Base Carbone 20
Intrants	Ratios	Machines et équipements	k€				700	80%	Base Carbone 20
Intrants	Ratios	Produits informatiques, électroniques et optiques	k€				400	80%	Base Carbone 20
Intrants	Ratios	Services (imprimerie, publicité, architecture et ingénierie, maintenance multi-technique des bâtiments)	k€				170	80%	Base Carbone 20
Intrants	Verre	Double vitrage de sécurité [8 à 10mm]	m2	21,6			37,2	50%	INIES
Intrants	Verre	Fibre de verre [neuf]	kg	1			2,13	20%	Base Carbone 20
Intrants	Végétation	Arbres (Quercus ilex φ35cm)	u	600			1,07	50%	Donnée métier
Intrants	Végétation	Arbuste	u	12			1,07	50%	Donnée métier
Intrants	Végétation	Mélange de semences pelouse	kg	1			1,203	30%	Ecoinvent
Énergie	Combustibles	Acétylène en bouteille	m3	0	3,757	0,041		5%	Ecoinvent
Énergie	Combustibles	Essence, supercarburant sans Pb (95, 95-E10, 98)	litre		2,23	0,5		10%	Base Carbone 20
Énergie	Combustibles	Gazole non routier	litre		2,51	0,655		10%	Base Carbone 20
Énergie	Combustibles	Huile moteur lubrifiant	litre	0		1,557		20%	Ecoinvent
Énergie	Combustibles	Oxygène en bouteille	m3	0		0,78		10%	Ecoinvent
Énergie	Électricité	2018 - mix moyen	kWh			0,0571		10%	Base Carbone 20
Énergie	Électricité	2018 - usage : Autres (BTP. recherche. armée. etc.)	kWh			0,0456		30%	Base Carbone 20
Énergie	Électricité	2018 - usage : Eclairage public	kWh			0,0644		30%	Base Carbone 20
Énergie	Électricité	2018 - usage : Transports	kWh			0,0386		30%	Base Carbone 20
Énergie	Électricité	2018 - usage : chauffage	kWh			0,1471		30%	Base Carbone 20
Énergie	Électricité	2020 - mix moyen	kWh			0,0599		10%	Base Carbone 20

*Cette page est laissée libre intentionnellement pour la pagination de l'impression.*