

## T7AMJ - LIGNE DE TRAMWAY ATHIS-MONS JUVISY

### BILAN CARBONE



### Prolongement de la ligne 7 du tramway



<b>GEN</b>	<b>MOG</b>	<b>ACT</b>	<b>401</b>	<b>ENV</b>	<b>001</b>	<b>A</b>
Zone	Émetteur	Phase	Type	Discipline	Numéro	Indice

## **BILAN CARBONE**

**réalisé par**



DATE D'ÉDITION	RÉVISION	NATURE DES MODIFICATIONS	ÉTABLI PAR	VÉRIFIÉ PAR	APPROUVÉ PAR	PAGE
07/2023	A0	Création de la note	SGH	VTO	NMI	

## SOMMAIRE

<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b>	<b>4</b>
<b>ÉLÉMENTS DE LANGAGE ET DÉFINITIONS</b>	<b>5</b>
<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>7</b>
I.1. L'évaluation carbone	7
I.2. Les principes de l'évaluation	7
I.3. Objectifs de l'évaluation	8
I.4. Outil utilisé pour l'évaluation	8
<b>II. DONNÉES D'ENTRÉE</b>	<b>9</b>
II.1. Les emprises du projet	9
II.2. Le détail quantitatif estimatif	9
II.3. Les plans du projet	10
<b>III. BILAN GES</b>	<b>11</b>
III.1. Synthèse globale	11
III.2. Synthèse sur la phase construction	12
<b>IV. SYNTHÈSE SUR LE MATÉRIEL ROULANT ET LES ÉMISSIONS VÉHICULAIRES</b>	<b>13</b>
IV.1. Matériel roulant	13
IV.2. Émissions véhiculaires évitées	14
<b>V. CONCLUSION</b>	<b>14</b>
<b>VI. ANNEXES</b>	<b>15</b>
VI.1. Annexe 1 : Méthodologie d'évaluation	15
VI.1.1. Gaz-à-effet de serre pris en compte	15
VI.1.2. Principes de l'évaluation	15
VI.1.3. Principe de calcul	16
VI.1.4. Périmètre de l'évaluation	16
VI.1.5. Les données d'activité	16
VI.1.6. La base de données	17
VI.1.7. Incertitudes des données	18
VI.1.8. Axes de l'évaluation	18
VI.1.8.1. <i>LE CYCLE DE VIE DES INFRASTRUCTURES</i>	19
VI.1.8.2. <i>LES CORPS DE MÉTIER</i>	19
VI.1.8.3. <i>POSTES D'ÉMISSIONS GES ET MÉTHODOLOGIE DE CALCUL</i>	19
VI.1.9. Émissions des travaux	20
VI.1.9.1. <i>INTRANTS</i>	20
VI.1.9.2. <i>ÉNERGIE</i>	20
VI.1.9.3. <i>FRET</i>	21
VI.1.9.4. <i>DÉCHETS</i>	22
VI.1.9.5. <i>DÉPLACEMENTS</i>	23
VI.1.9.6. <i>IMMOBILISATIONS</i>	23
VI.1.10. Émissions hors travaux	23
VI.1.10.1. <i>ÉTUDES DE CONCEPTION ET CONTRÔLE TECHNIQUE</i>	23
VI.1.10.2. <i>CHANGEMENT D'AFFECTATION DU SOL</i>	24
VI.1.10.3. <i>CONSOMMATION D'ÉNERGIE DES ÉQUIPEMENTS</i>	24
VI.1.10.4. <i>LES ÉMISSIONS VÉHICULAIRES</i>	24
VI.2. Annexe 2 : Note de Calcul Détaillé du BGES	25

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

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

## 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> , 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.
<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)

## I. 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.

### I.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.

### I.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.
- Pertinence : 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.

### I.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 prolongement de la ligne 7 du tramway. 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 permet de répondre aux exigences de ce décret.

### I.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 des GES lors de la fabrication des intrants, 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®



## II. DONNÉES D'ENTRÉE

### II.1. Les emprises du projet

L'évaluation considère le périmètre des travaux, limité aux emprises du projet, les aménagements urbains adjacents et les structures nécessaires à l'exploitation de la ligne. Ce périmètre ne prend pas en compte l'influence du projet sur le réseau connexe (réduction du trafic, report modal).

Ce périmètre sera élargi ultérieurement pour prendre en compte l'influence du projet sur les usagers. Il sera en accord avec les études socio-économiques et le modèle de transport afin de prendre en compte les émissions évitées liées à la modification de la part modale des déplacements. Le périmètre d'évaluation prend en compte le découpage par tronçons de l'ensemble du projet. Le bilan GES est décomposé en 10 tronçons afin d'isoler les résultats obtenus et apporter des évolutions si nécessaire dans les prochaines phases du projet.

Les 10 tronçons sont les suivants :

- Tronçon 1 : Gare routière > PVC.
- Tronçon 2 : PVC > Aristid Briand
- Tronçon 3 : Aristid Briand > Perdereau
- Tronçon 4 : Perdereau > Pyramide
- Tronçon 5 : Pyramide > rue Flammarion
- Tronçon 6 : Flammarion > Observatoire (aérien)
- Tronçon 6 bis : Section enterrée et Parc
- Tronçon 7 : Piver > PVF
- Tronçon 8 : PVF > Estienne d'Orves
- Tronçon 9 : Estienne d'Orves > Terminus GPI

### II.2. Le détail quantitatif estimatif

À partir du détail quantitatif estimatif (**Tableau 1**) du projet, il a été possible de modéliser les flux en phase travaux et d'extrapoler sur le cycle de vie du projet. Ce quantitatif a été réalisé à partir du DQE phase PRO.

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 des inventaires de cycle de vie et leur description est présenté dans l'**Annexe 1** de la note de calcul jointe. De même, les détails des métrés est présenté dans l'**Annexe 4** de la note de calcul jointe.

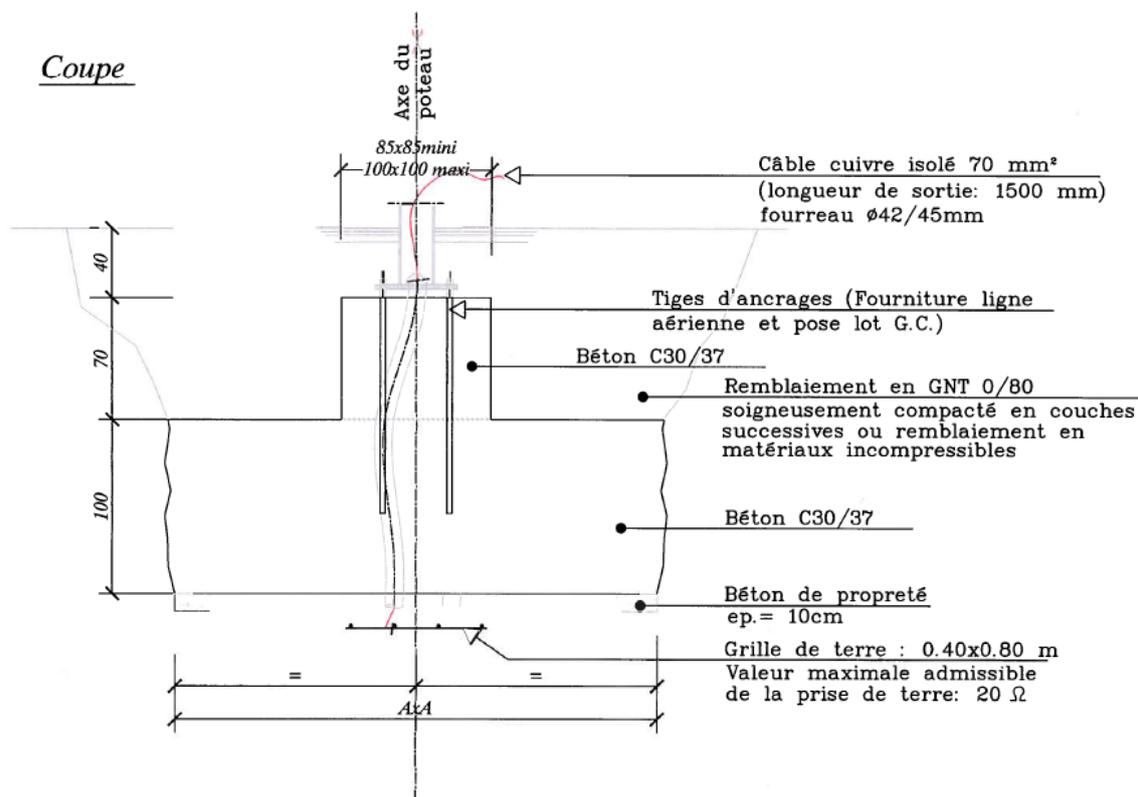
Tableau 1. Extrait du détail estimatif des travaux du projet

N° de prix	Lots	Unité	P.U. €HT CE mai 2021	TRONÇON 1 Gare routière > PVC	
				Qté Tronçon 1	Prix Tronçon 1
<b>1. TRAVAUX PREPARATOIRES</b>					
1 1	Installations de chantier (hors tunnel)	%	5,0%		43 234 €
1 2	Etudes, récolements	%	2,5%		21 617 €
1 3	Essais / contrôles	%	1,5%		12 970 €
1 4	Exploitation sous chantier	%	3,0%		25 940 €
1 5	Dégagement des emprises				
1 5 1	Abattage / dessouchage d'arbre	u	465,00 €		
1 5 2	Protection des arbres maintenus	u	260,00 €		
1 5 3	Dépose de candélabres y compris massifs	u	200,00 €	20,40	4 080 €
1 5 4	Dépose de mobilier urbain divers	m <sup>2</sup> de trottoir	4,00 €	2772,00	11 088 €
1 5 5	Dépose/repose de clôture	ml	150,00 €		
1 5 6	Décapage de terre végétale	m <sup>2</sup>	10,00 €	2100,00	21 000 €

## II.3. 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 et de mieux prendre en compte la géométrie des ouvrages construits. Un extrait d'une vue en coupe des massifs de ligne aérienne est présenté dans la **Figure 2**.

Figure 2. Vue en coupe des massifs de ligne aérienne



## III. BILAN GES

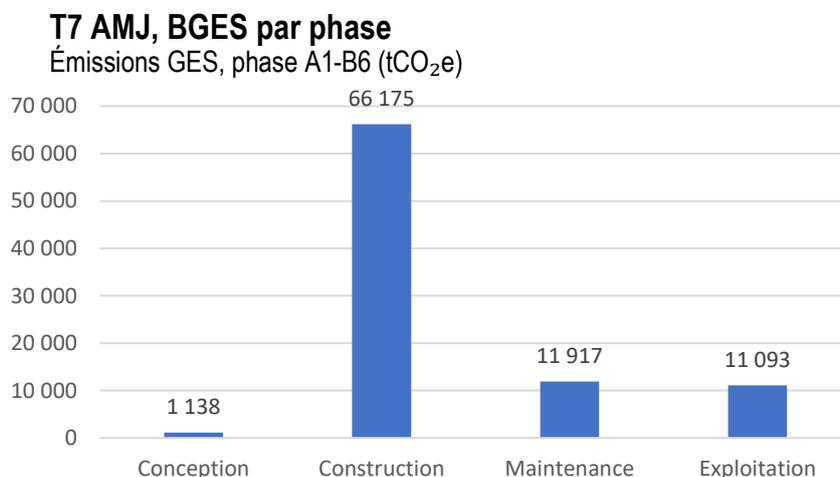
### III.1. Synthèse globale

Le bilan global des émissions directes et indirectes est de **90 324 tCO<sub>2</sub>e** (hors émissions liées aux usagers et au matériel roulant). L'incertitude totale est estimée à 9 771 tCO<sub>2</sub>e, soit 10,8% des émissions estimées. Les détails des estimations sont présentés dans la note de calcul jointe à ce rapport.

Une première observation des postes rend compte de l'importance de la part des émissions liées aux travaux de construction avec 66 175 tCO<sub>2</sub>e, soit 73,3% du total des émissions du projet.

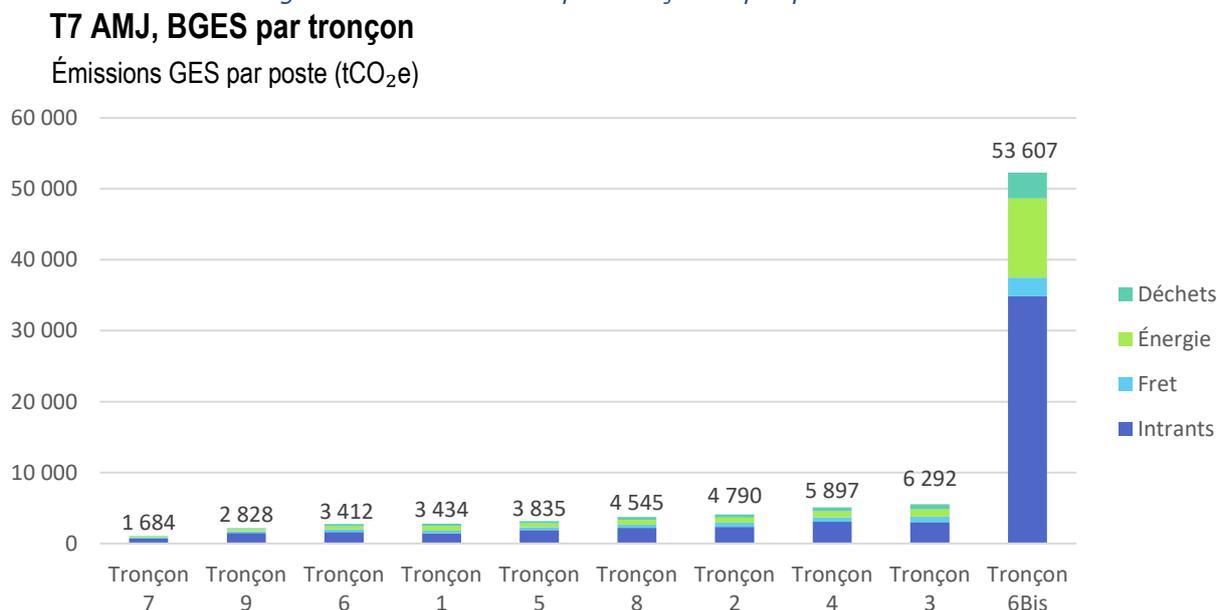
La répartition des émissions par phase du cycle de vie est présentée dans la **Figure 3**. Il est à rappeler que **la période d'évaluation est de 50 ans**. Le projet n'ayant pas pour objet à être démantelé, les émissions liées à la fin de vie ne sont présentées.

Figure 3. Émissions GES par phase du cycle de vie



Concernant le découpage par tronçon, le tronçon 6 bis (section enterrée et parc) est responsable de 53 607 tCO<sub>2</sub>e, soit 59,3% des émissions totales. Le découpage des émissions par section et par poste d'émission est présenté dans la **Figure 4**.

Figure 4. Émissions GES par tronçon et par poste d'émissions



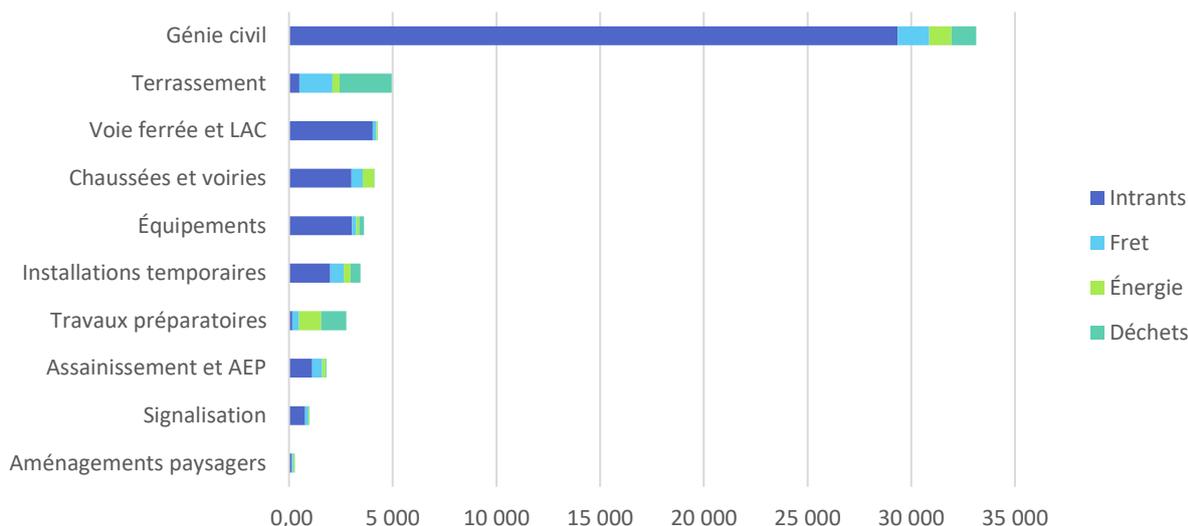
## III.2. Synthèse sur la phase construction

La répartition des émissions par métiers pour la phase de construction est montrée dans la **Figure 5**.

Figure 5. Décomposition des émissions GES en phase construction par corps de métier

### T7 AMJ, BGES phase Construction

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



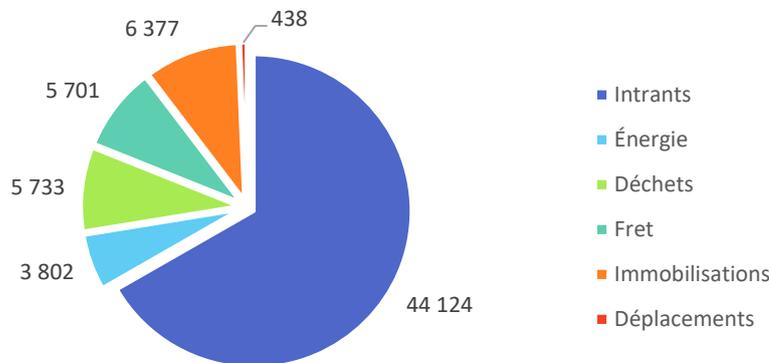
En phase construction, les corps de métier les plus émetteurs sont le génie civil avec 56% du total, les terrassements pour 8,3%, et les voies ferrées et LAC pour 7,2%.

La **Figure 6** présente la décomposition des émissions par postes émissifs durant la phase de construction.

Figure 6. Décomposition des émissions GES en phase construction par poste émissif

### T7 AMJ, BGES par poste émissif

Émissions GES, phase construction (tCO<sub>2</sub>e)



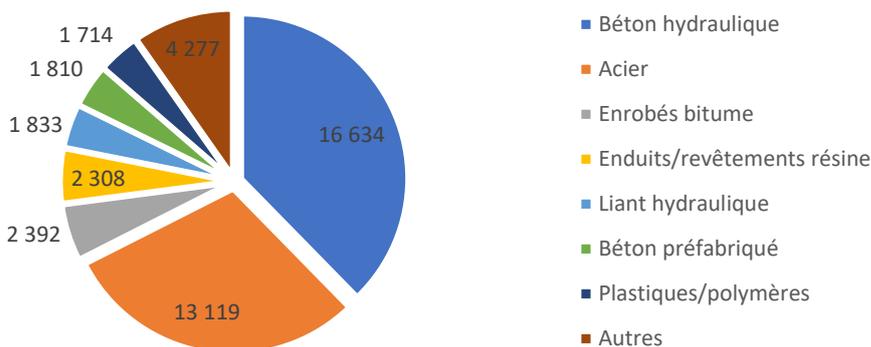
Les intrants représentent 66,7% des émissions totales durant la phase de construction, suivi par les immobilisations (9,6%), le traitement des déchets et le fret (8,6% chacun). L'énergie et les déplacements représentent 6,4% des émissions GES en phase construction.

La répartition des émissions des intrants par type de matériaux durant la phase de construction est présentée dans la **Figure 7**.

Figure 7. Décomposition des émissions GES par type de intrants durant la phase de construction

## T7 AMJ, BGES principaux intrants

Émissions GES par type de matériau, phase construction (tCO<sub>2</sub>e)



Les intrants les plus impactant dans le cadre du projet en termes d'émissions sont les bétons (41,8%) et les aciers (29,8%).

## IV. SYNTHÈSE SUR LE MATÉRIEL ROULANT ET LES ÉMISSIONS VÉHICULAIRES

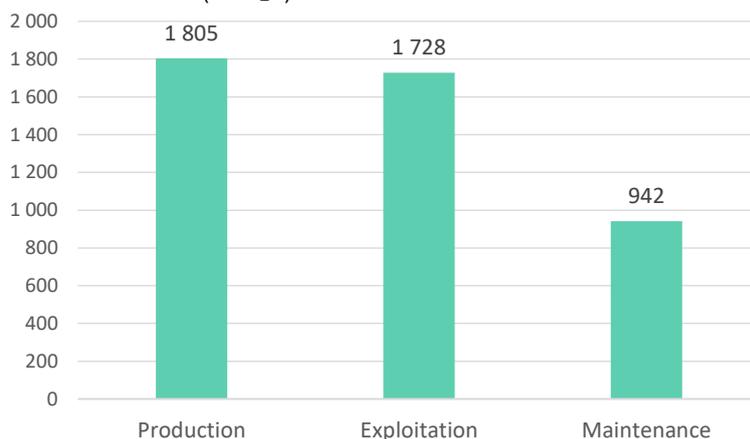
### IV.1. Matériel roulant

Le bilan des émissions générées par l'addition du matériel roulant (MR) supplémentaire est de **4493 tCO<sub>2</sub>e**. La répartition des émissions par phase du cycle de vie est présentée dans la **Figure 8**.

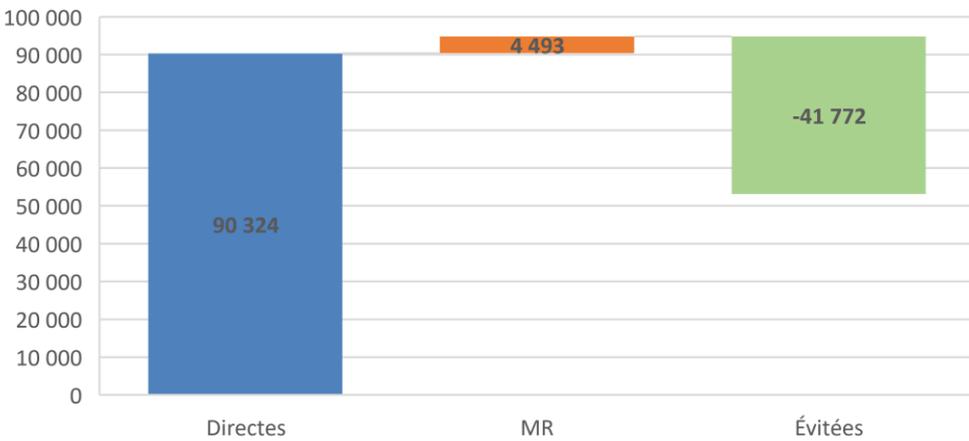
Figure 8. Bilan des émissions du matériel roulant supplémentaire

## T7 AMJ, BGES du matériel roulant

Émissions GES (t CO<sub>2</sub>e)



# Prolongement de la ligne 7 du tramway



ince, les émissions présentées sont ue pour la phase d'exploitation, les res de la ligne, mais sur la section

permet de réduire l'utilisation des véhicules légers (VL) d'une valeur estimée à 5 744 milliers de véh.km par an. Cette réduction permet d'éviter des émissions d'un total de **41 772 tCO<sub>2</sub>e** pendant la période d'évaluation de 50 ans.

## V. CONCLUSION

Le bilan global initial des émissions de GES hors usagers est évalué à **90 324 tCO<sub>2</sub>e**, avec une incertitude de 9 771 tCO<sub>2</sub>e, soit 10,8% des émissions estimées. En phase construction, l'empreinte carbone du projet est de **66 175 tCO<sub>2</sub>e**.

L'addition du matériel roulant et son exploitation sur la section prolongée génère des émissions d'une valeur de **4 493 tCO<sub>2</sub>e** sur la période d'évaluation de 50 ans.

En plus, le prolongement de la ligne T7 du tramway permet d'éviter **41 772 tCO<sub>2</sub>e** d'émissions véhiculaires durant cette même période.

Les émissions du bilan initial, les émissions liées au matériel roulant, et les émissions véhiculaires évitées sur la période d'évaluation de **50 ans** sont présentés dans la **Figure 9**.

Figure 9. Récapitulatif du bilan GES total

### T7 AMJ, Récapitulatif du bilan GES Émissions directes, MR et évitées (t CO<sub>2</sub>e)

## VI. ANNEXES

### VI.1. Annexe 1 : Méthodologie d'évaluation

L'approche globale de l'évaluation GES des infrastructures est basée sur la méthode *Bilan Carbone*®. Initialement conçue pour les organisations, elle permet de quantifier les émissions de gaz à effet de serre engendrées par la consommation des ressources nécessaires au déroulement de leurs activités dans un périmètre établi. Ainsi, un projet routier n'existe que parce que des usagers y circulent. Ces mêmes usagers ne peuvent utiliser leur véhicule que si de l'énergie est disponible (carburant, électricité).

Afin d'identifier la provenance des émissions GES, la comptabilité carbone effectuée suivant la méthode *Bilan Carbone*® permet de faire la différence entre :

- les émissions de gaz à effet de serre qui prennent place au sein du périmètre de l'entité, issues des sources détenues ou contrôlées par l'organisation en question (Scope 1),
- les émissions qui prennent place à l'extérieur de ce périmètre, mais qui sont tout de même nécessaires au déroulement des activités (Scope 2 et 3). Ces émissions concernent notamment la production et distribution d'énergie ainsi que celles liées aux phases du cycle de vie autres que la fabrication (transport, utilisation, fin de vie)

Les émissions qui figurent dans un Bilan GES ne sont donc pas uniquement celles dont l'entité est directement responsable, mais également celles dont elle dépend pour exister. Le degré de responsabilité s'appréciera en fonction des émissions considérées, du contexte d'ensemble et également de ses propres critères. Ainsi, l'analyse ne s'arrête pas à la détermination du degré de responsabilité de l'entité évaluée.

#### VI.1.1. GAZ-À-EFFET DE SERRE PRIS EN COMPTE

Pour l'heure, toutes les méthodes standardisées ou officielles d'inventaire des émissions de gaz à effet de serre partagent quelques caractéristiques :

- seuls sont comptabilisés les gaz émis, et non ceux qui apparaissent dans l'atmosphère à la suite de réactions chimiques ou photochimiques grâce à des émissions de précurseurs (cas de l'ozone troposphérique),
- seuls sont comptabilisés les gaz émis dans la troposphère, et non ceux émis dans la stratosphère (cas d'une partie des émissions des avions en vol).

Les gaz à effet de serre qui correspondent à cette définition sont essentiellement ceux qui sont repris dans le cadre du protocole de Kyoto - initiative internationale phare en matière de réduction des gaz à effet de serre :

- le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) d'origine fossile, dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,
- le méthane (CH<sub>4</sub>), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre de la décennie,
- le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,
- les hydrofluorocarbures (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>F<sub>p</sub>), dont la demi-vie dans l'atmosphère s'échelonne de quelques semaines à quelques siècles,
- les perfluorocarbures (C<sub>n</sub>F<sub>2n+2</sub>), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre de quelques siècles à plusieurs dizaines de millénaires,
- l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de quelques milliers d'années.

#### VI.1.2. PRINCIPES DE L'ÉVALUATION

Afin d'assurer la crédibilité et la reproductibilité de l'évaluation carbone, plusieurs principes guident la réalisation du bilan :

- Exhaustivité : il inclut toutes les informations dimensionnantes concernant les activités entraînées par le projet sur l'ensemble de son cycle de vie.
- Pertinence : 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.

### VI.1.3. 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) combinées 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 10**.

Figure 10 - Principe de calcul des émissions GES d'un projet d'infrastructure



### VI.1.4. PÉRIMÈTRE DE L'ÉVALUATION

Pour périmètre temporelle plusieurs approches peuvent être utilisées. Le choix dépendra des données disponibles et de sa pertinence par rapport au projet :

- La période de concession ;
- Le périmètre temporel de l'évaluation socio-économique (qui en théorie s'étale jusqu'en 2140) ;
- La durée d'évaluation des études air et santé fixée à 20 ans (sans autre données il permet d'évaluer l'impact du projet des usagers sur cette période) ;
- La recommandation du CEREMA de 50 ans (mais qui peut entraîner des problèmes sur la projection des usages du projet).

Quant au périmètre spatial de l'évaluation, il est décomposé en deux. Le premier concerne le périmètre des travaux qui, dans le cadre de cette évaluation se limite aux emprises du projet ainsi que des ouvrages annexes. Les installations temporaires telles que les cantonnements, la base de vie et les dépôts doivent être aussi considérés dans ce périmètre.

Le second est défini par l'aire d'influence du projet sur les usagers. Il est à noter que le total des émissions véhiculaires n'est pas comptabilisé dans ce périmètre mais plutôt la différence entre les scénarii référence et projet. L'objectif est de prendre en compte l'impact du projet sur la circulation afin d'évaluer les effets sur la consommation énergétique. Cette distinction permet une approche cohérente vis-à-vis de l'esprit de la méthodologie *Bilan Carbone®*. Ainsi, ce périmètre s'apparente à celui d'une évaluation socio-économique et reprend souvent les emprises relevées par l'étude de trafic.

### VI.1.5. 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. L'ensemble de ces flux est établi 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. Ainsi, chacun des travaux renseignés dans le DQE fait l'objet d'une décomposition permettant d'établir les inventaires de cycle de vie du projet (voir exemple dans le **Tableau 2**)

Afin de structurer l'évaluation, les ICV sont établis par élément fonctionnel. En effet, les éléments fonctionnels représentent les sous-ensembles qui constituent une infrastructure et qui assurent son fonctionnement. Par exemple, dans le cas d'un projet urbain, la signalisation des voiries est constituée de plusieurs éléments fonctionnels tels que le marquage au sol, la signalisation verticale statique et dynamique. Chacun de ces éléments fonctionnels requièrent des travaux pour être mis en place et entretenus ainsi que de l'énergie pour être exploités (p.ex. dans le cas de la signalisation dynamique ou la SLT).

Tableau 2 - Exemple simplifié d'un inventaire de cycle de vie pour des travaux de démolition

Travaux préparatoires					
Dégagement d'emprises					
Démolition					
Inventaire E1	Inventaire E2	Inventaire E3		Qté.	UF.
Fret	Routier entrant	Ensemble articulé porte voitures, PTR 40T		19 800	tonne.km
Énergie	Combustibles	Gasoil non routier		3 126	litre
Fret	Routier sortant	Ensemble articulé benne TP, PTR 40T		31 779	tonne.km
Déchets	Déchets bâtiment	Déchets inertes en mélange		794	tonne

## VI.1.6. LA BASE DE DONNÉES

Les facteurs d'émissions (FE) s'expriment en kgCO<sub>2e</sub> par unité (e pour équivalent) et permettent de retranscrire l'impact carbone d'un matériau, d'une activité ou d'une consommation énergétique. Ils sont majoritairement issus de la base ADEME mais peuvent également être complétés par des bases externes lorsque les informations manquent (Base INIES, DIOGEN, Ecoinvent ou directement les FDES des fournisseurs).

Le choix des FE utilisés a été hiérarchisé de la façon suivante selon les disponibilités :

- Base ADEME
- Base INIES
- FDES de fournisseurs et autres bases génériques (DIOGEN, CERIB, BETie, etc.)
- Ecoinvent
- Construction du FE en considérant le FE du matériaux principal (exemple : Pour une armoire électrique en acier, il sera considéré le poids de l'armoire auquel sera associé le FE de l'acier).

De même, certains facteurs d'émission sont construits à partir de l'outil *Bilan Produit* faisant partie de la Base Impacts® de l'ADEME. Cet outil sert à estimer les émissions engendrées par la production de certains équipements dont les processus de fabrication est plus important que celui du matériau principal. Tel est le cas des glissières métalliques et des panneaux de signalisation routière par exemple. Ces équipements comportent des traitements de surface non négligeables (respectivement galvanisation et thermolaquage).

Pour s'adapter aux avant-métrés des différents travaux, les FE sont convertis à l'unité du métier, appelée unité fonctionnelle. Par exemple : si un métier indique une quantité de béton en m<sup>3</sup> alors que le FE est exprimé en kg CO<sub>2e</sub>/tonne, le FE est alors converti en kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> à partir de la masse volumique ~2,35 tonne/m<sup>3</sup>.

## VI.1.7. INCERTITUDES DES DONNÉES

Toutes les données sont assorties d'une incertitude représentant la variabilité des valeurs estimées. Elles sont déterminées en fonction :

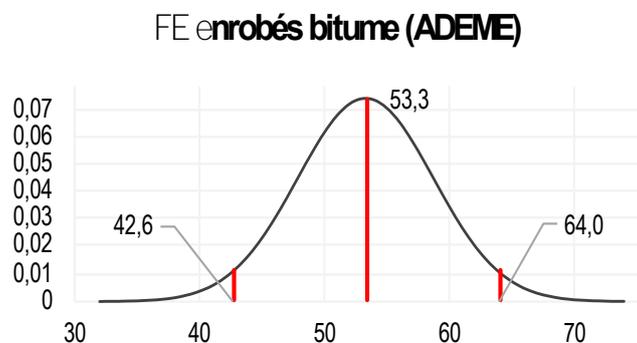
- d'hypothèses sur des données qui ne peuvent à cette phase être définies (origine des matériaux, lieux d'évacuation, études en cours d'élaboration...) ;
- des évolutions probables du projet (déblais, remblais, structure de la voie...) ;
- de la difficulté à estimer une variable (consommation énergétique du chantier, distance parcourue par le personnel...) ;
- des facteurs d'émissions associés à partir des indicateurs statistiques renseignés dans les bases de données.

Les incertitudes sont représentées par un pourcentage qui indique la variabilité associée à la valeur moyenne employée. Ce pourcentage est calculé à partir de l'intervalle de confiance à 95% résultant de la distribution des valeurs recueillies. Ainsi, l'exemple présenté dans la **Figure 11**, montre la distribution des FE des enrobés bitume (en kg CO<sub>2</sub>e/tonne) calculés par l'ADEME sur la base des données recueillies auprès des fabricants.

À partir de cette distribution, l'intervalle de confiance à 95% (délimité en rouge) permet de calculer l'incertitude associée. Ainsi, le FE des enrobés bitume est de 53,3 kg CO<sub>2</sub>e/tonne, avec une incertitude de 20%. Cela indique que la valeur attendue se trouve entre 42,6 et 64 kg CO<sub>2</sub>e/tonne, avec une haute probabilité qu'elle soit autour de 53,3 kg CO<sub>2</sub>e/tonne.

Afin de donner un ordre de grandeur de la variabilité des émissions estimées, la superposition des incertitudes liées aux FE et aux données d'activité est faite en appliquant la méthode de calcul du *Bilan Carbone*®. Cette méthode permet d'estimer l'incertitude totale pour chaque émission calculée ainsi que d'agréger les données afin d'obtenir l'incertitude totale pour l'ensemble de l'évaluation.

Figure 11 - Distribution de probabilité du facteur d'émission des enrobés bitume calculé par l'ADEME



## VI.1.8. AXES 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.

Les données d'activité permettent de modéliser les flux engendrés par chacun des éléments fonctionnels de l'infrastructure. Cette modélisation 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 mis en service par les différents métiers et leur décomposition suivant les postes d'émission évalués.

## VI.1.8.1. Le cycle de vie des infrastructures

Dans le cas des infrastructures de transport, l'ensemble du cycle de vie est décomposé en 5 phases : construction, utilisation, maintenance, exploitation et fin de vie. Chacune d'entre elles regroupe les différentes phases du cycle de vie allant du A1 au C4 :

- Construction (A1-A5) : cela comprend le contenu carbone des intrants (A1-A3), l'acheminement au chantier (A4) et la mise en œuvre (A5). Les émissions liées aux travaux de démolition et dégagements des emprises existantes sont comprises dans la phase A5 car elles font partie des travaux nécessaires à la mise en œuvre des éléments du projet.
- Utilisation (B1) : cela inclut les émissions des usagers par type de véhicule (VL, PL) et par tranche de vitesse. L'évaluation de ces émissions peut être effectuée en appliquant les facteurs d'émission de combustion de *COPERT IV* ou les FE de la base ADEME.
- Maintenance (B2-B5) : cette évaluation suit la même logique travaux de la phase construction. Cette phase inclut les travaux de remplacement, de réparation et de réfection des emprises du projet selon la durée de vie (ou jouvence) définie pour chacun des éléments fonctionnels du projet. Par exemple, la période moyenne de renouvellement de la couche de roulement d'une chaussée est de 10 ans. En plus de travaux de mise en œuvre, les travaux de démolition de l'existant sont inclus dans cette phase.
- Exploitation (B6) : les émissions liées aux consommations énergétiques des équipements d'exploitation (éclairage, signalisation, péages) ainsi qu'aux déplacements du personnel de service sont incluses dans cette phase.
- Fin de vie (C1-C4) : en pratique, les projets d'infrastructure n'ont pas pour objet à être démantelés, la fin de vie est souvent exclue du périmètre. Néanmoins, ces travaux sont abordés comme les travaux préalables en phase construction : démantèlement, démolition, dépose et la remise en état des anciennes emprises de l'infrastructure.

## VI.1.8.2. 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 corps 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 requiert 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. Par exemple, pour le marquage au sol dont la durée de vie est de 10 ans et pour une période d'évaluation de 30 ans, la jouvence attribuée est de 3.

Chaque élément est caractérisé par une **unité fonctionnelle** définie suivant la fonction d'usage accomplie par l'élément en question. Par exemple, dans le cas d'une glissière, l'unité fonctionnelle retenue est le ml.

## VI.1.8.3. Postes d'émissions GES et méthodologie de calcul

Les émissions totales produites par un projet d'infrastructure sont décomposées en différents postes. Les postes d'émissions représentent les flux principaux engendrés par le projet évalué. Brièvement, les postes d'émission principaux retenus dans la méthodologie d'évaluation sont :

- les intrants, matériaux, dispositifs et appareils intégrés aux éléments fonctionnels de l'infrastructure ;
- l'énergie, d'une part celle utilisée lors des travaux de construction et maintenance et d'autre celle consommée par l'exploitation et l'utilisation de l'infrastructure ;
- les déchets, engendrés par les travaux préparatoires (démolition, dégagement des emprises et terrassement), les travaux de mise en œuvre (chutes et emballages) et les installations de chantier (base de vie) ;

- le fret, pour le transport dans les emprises du projet (interne), l'amené des intrants et des engins (entrant) et l'évacuation des déchets (sortant) ;
- les déplacements, correspondant aux trajets effectués par les employés lors des travaux et pour le fonctionnement de l'infrastructure ;
- les immobilisations, correspondant à l'amortissement du matériel utilisé pendant les travaux tels que les engins de chantier ou les installations provisoires (base de vie) ;

## VI.1.9. ÉMISSIONS DES TRAVAUX

Pour le calcul des émissions des travaux, les données d'entrée (plan, quantitatifs, estimatifs) doivent permettre de répertorier l'ensemble des éléments fonctionnels à réaliser dans le cadre de la construction de l'infrastructure. Par exemple, dans le cas d'une route, les éléments fonctionnels principaux sont : les couches de fondations, les couches de roulement, les réseaux d'assainissement, la signalisation horizontal et vertical, etc.

Lorsque les éléments fonctionnels ont été identifiés, les inventaires de cycle de vie pour chacun sont établis. Ces inventaires prennent en compte les flux induits par les travaux de construction et de maintenance suivant les six postes d'émission présentés. La méthodologie générale d'évaluation de ces postes est présentée dans les sous-sections suivantes.

### VI.1.9.1. Intrants

Les émissions GES des intrants correspondent à leur contenu carbone, c'est-à-dire, la quantité de GES émise lors de l'extraction des matières premières, leur transport à l'usine et le processus de fabrication (phases A1-A3 du cycle de vie).

Ces émissions ne sont pas calculées dans le cadre de l'évaluation carbone des infrastructures. Elles sont obtenues soit à partir des FE communiqués par les fabricants, soit à partir des FE compilés dans les bases de données carbone (*ADEME, INIES, Ecoinvent®*)

Les quantités d'intrants sont directement obtenues des métrés et des détails estimatifs des travaux. D'autres fournitures associées sont aussi intégrées dans l'évaluation lorsqu'elles sont pertinentes sur le plan carbone. Par exemple, pour la réalisation des chaussées en enrobé bitumineux, la couche d'imprégnation doit être aussi prise en compte.

### VI.1.9.2. Énergie

Quantifier les émissions issues de l'exécution des travaux requière la définition des engins qui constituent les ateliers de construction. Ainsi, leur consommation de carburant doit être estimée avant le calcul des émissions GES. Dans le cas où la consommation de carburant n'est pas connue par les équipes de travaux, la méthodologie EMEP - CORINAIR de l'*European Environment Agency* (EEA) peut être appliquée. Le document méthodologique concerné est : « *air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.4 - Non-road mobile sources and machinery* ».

L'approche *Tier 3* de la méthode permet de déterminer la consommation horaire de carburant en fonction de la puissance des engins de chantier. Par exemple, pour des travaux de terrassement, un bulldozer de 131 kW est utilisé pendant 10 jours, 8 heures par jour. Le facteur de consommation (FC) est de 250 g/kWh. En partant d'une hypothèse d'utilisation de 75 %, la puissance moyenne en utilisation de l'engin est de  $131 \times 0,75$  soit 98,25 kW. Il fonctionne pendant 80 heures soit une consommation de 1,97 tonnes de carburant ( $98,25 \times 80 \times 250 \times 10^{-6}$ ). Avec une masse volumique de 860 kg/m<sup>3</sup>, 22 800 litres de diesel ont été consommés. Ensuite, l'ADEME indique un FE de 3,17 kgCO<sub>2</sub>e par litre de gazole consommé. Ainsi, le total émis par le bulldozer est de 72,3 tCO<sub>2</sub>e.

Tableau 3 - Consommation de carburant par puissance d'engin de Type Stage V. Source EMEP – EEA

Puissance maximale (kW)	0 - 19	20 - 36	37 - 55	56 - 74	75 - 129	130 - 559	> 560
<b>Consommation diesel (g/kWh)</b>	270	262	260	260	255	250	250

Tableau 4 - Consommation de carburant par cylindrée 2T essence de Type Stage V. Source EMEP – EEA

Cylindrée 2 T (cm3)	Consommation essence (g/kWh)
<b>20-65</b>	500
<b>&gt;65</b>	652

### VI.1.9.3. Fret

Afin de distinguer l'impact du fret des intrants et des déchets évacués, le fret est divisé entre le 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 doivent être détaillées pour chacun des engins, matériels, matériaux et déchets concernés. Les distances sont essentiellement choisies en fonction de :

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

Lorsqu'il s'agit d'une évaluation GES en phase de conception en amont, des hypothèses récurrentes des distances de transport sont à établir, parmi elles on retrouve :

- la distance d'évacuation des déchets par défaut,
- la distance au stockage temporaire (concernant les mouvements de terre).

Tableau 5 - 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

Dans le cas du transport routier, les engins retenus pour le calcul des émissions GES varient en fonction des objets transportés. La liste des engins utilisés pour l'évaluation GES et ses facteurs d'émission est détaillée dans le **Tableau 6**.

Quant aux autres modes de transport, en particulier du fret ferroviaire et fluvial, des études logistiques spécifiques sont nécessaires. En effet, ces modes de transport requièrent une analyse préalable concernant l'existence des infrastructures ainsi que des pôles d'échange nécessaires aux derniers kilomètres parcourus.

Tableau 6 - Émissions GES (kg CO<sub>2</sub>e/t.km) par engin de transport. Source : base ADEME

Engins de transport	Total GES (kg CO <sub>2</sub> e/t.km)
<b>Ens. art. PTR A 40T, benne TP [1]</b>	0,117
<b>Ens. art. PTR A 40T, marchandises diverses, longue distance [1]</b>	0,096
<b>Ens. art. PTR A 40T, citerne [1]</b>	0,098
<b>Ens. art. PTR A 40T, porte voitures [1]</b>	0,220
<b>Toupie béton 8 m3</b>	0,070

#### VI.1.9.4. Déchets

La production de déchets lors de phases de construction et de maintenance est gérée suivant deux schémas. Le premier concerne les déchets générés par les travaux de démolition et de dégagement des emprises (débroussaillage, déboisement, etc.). Ces déchets sont considérés comme étant directement évacués et ainsi comptabilisés dans les métiers qui les produisent. Par exemple, la démolition d'une couche de roulement est comptabilisée dans le métier « chaussées ».

Le deuxième concerne les déchets engendrés par les intrants : les emballages, les chutes et les pertes qui sont imputés aux installations temporaires (benne déchets en base vie). Les quantités de déchets sont estimées à partir d'un pourcentage de la masse de l'unité fonctionnelle concernée. En prenant comme exemple une tonne de béton préfabriquée, les déchets générés sont : 56 kg de béton hydraulique (liés à la mise en œuvre) et 50 kg d'emballages (bois, carton et film plastique). Ces pourcentages pris en compte sont issus des FDES de l'INIES et des données métiers. Un extrait de ces pourcentages est présenté dans le **Tableau 7**.

Les emballages et chutes ainsi que les déchets ménagers et les eaux usées sont attribués au chantier et la base vie.

Tableau 7 - Matrice de production des déchets issus des fournitures (chutes et emballages)

Matériaux	Métaux	Déchets non dangereux	Déchets inertes	Bois B	Plastique moyen
<b>Acier</b>	0,025	0	0	0,004	0,003
<b>Aluminium</b>	0,025	0	0	0,004	0,003
<b>Asphalte</b>	0	0,015	0	0,0375	0,0125
<b>Béton hydraulique</b>	0	0	0,003	0	0
<b>Béton préfabriqué</b>	0	0	0,056	0,0375	0,0125
<b>Bois</b>	0	0	0	0,0375	0,0125
<b>Enduits/revêtements résine</b>	0	0	0	0,0375	0,0125
<b>Enrobés bitume</b>	0	0,015	0	0	0

<b>Liants hydrauliques</b>	0	0	0	0,0375	0,0125
<b>Matériel électronique</b>	0	0	0	0,0375	0,0125
<b>Plas-tiques/polymères</b>	0	0	0	0,0375	0,0125
<b>Végétation</b>	0	0	0	0	0,01

## VI.1.9.5. Déplacements

Pour le déplacement du personnel il n'a été considéré que des trajets routiers dans le cas des projets d'infrastructure. Les distances domicile-travail tout comme la répartition modale des trajets peuvent être prises des enquêtes ménages déplacements de la zone du projet. S'il s'agit d'une zone périurbaine rurale, peu desservi par des lignes de transports en commun réguliers, la part modale peut être assimilée intégralement à des déplacements en voiture particulière.

Le nombre de déplacements domicile/travail est estimé par phase de vie du projet. Ce nombre est donné par la durée des travaux et les cadences de production (phase construction et maintenance), ainsi que par le personnel d'exploitation prévisionnel. Les FE retenus sont ceux de l'ADEME. Par exemple, les trajets en voiture particulière en périphérie urbaine émettent 0,3254 kgCO<sub>2</sub>e/véh.km.

En phase d'exploitation, le nombre de employés nécessaires à l'opération des installations est obtenu à partir du retour d'expérience de la société en charge. À partir de ce nombre et des horaires de présence prévisionnels, le nombre de déplacements (en passagers.km) est déterminée sur la période d'évaluation concernée.

## VI.1.9.6. Immobilisations

Les immobilisations correspondent à l'ensemble des 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 sont calculés sur la base de données de l'ADEME. Ainsi, on retient le FE des machines (3 670 kgCO<sub>2</sub>e/t) pour les engins de chantier et d'entretien, et le FE des bureaux en métal (158 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>) pour les cantonnements et la base vie.

Pour pouvoir adapter ces FE à l'utilisation réelle des engins, ils ont été convertis en kgCO<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 kgCO<sub>2</sub>e/(tonne.jour). De la même façon, on obtient le FE des cantonnements qui correspond à 0,032 kgCO<sub>2</sub>e/(t.m<sup>2</sup>).

## VI.1.10. ÉMISSIONS HORS TRAVAUX

### VI.1.10.1. Études de conception et contrôle technique

La quantification des émissions liées aux études de conception et aux contrôles techniques est faite sur une approche macroéconomique. L'ADEME définit des ratios monétaires pour différents secteurs d'activités en tenant compte des émissions consignées dans les Bilan Carbone® des entreprises. Ainsi, en phase conception un ratio monétaire est appliqué aux montant des études : 110 kgCO<sub>2</sub>e/k€ (ratio monétaire pour une activité de conseil). Quant aux contrôles techniques, le ratio appliqué est de 170 kgCO<sub>2</sub>e/k€ (ratio monétaire pour une activité de service d'architecture et d'ingénierie).

## VI.1.10.2. Changement d'affectation du sol

Une modification dans l'affectation du sol engendre l'émission de GES ainsi qu'un changement dans les capacités de captation de carbone. Pour tenir compte de cet impact, l'ADEME propose une méthode d'évaluation sur la base des dynamiques de stockage carbone en fonction du type de sol étudié. Par exemple les FE proposé par l'ADEME pour un changement d'affectation d'un sol *Cultivé* vers un sol *imperméabilisé* est de 190 t CO<sub>2</sub>e/ha.

Tableau 8 - Facteurs d'émissions pour les changements d'affectation du sol proposés par l'ADEME (en t CO<sub>2</sub>/ha.an et en t CO<sub>2</sub>/ha)

	Cultures	Prairies	Forêts	sols non imperm.	sols im- perm.
<b>Cultures en terres arables</b>		-1,80	-1,61	0	190
<b>Prairies permanentes</b>	3,48		-0,37	0	290
<b>Forêts</b>	2,75	0,37		0	290

## VI.1.10.3. Consommation d'énergie des équipements

Mis à part la consommation de carburant des engins de chantier, d'autres postes de consommation directe d'énergie sont identifiés dans le cycle de vie du projet. En particulier, la consommation des équipements techniques d'exploitation de l'infrastructure ne doit être pas négligée. Les consommations d'énergie de ces derniers sont estimées à partir du bilan puissance réalisé pour le dimensionnement des installations.

À la puissance nécessaire, un temps d'utilisation annuel est attribué à chacun des équipements en fonction de leur usage (en supplément des coefficients de simultanéité et d'utilisation). Le produit de ces données permet de calculer l'électricité consommée en kWh. D'autres consommations, telles que le chauffage ou l'ECS sont aussi à intégrer. Ainsi, toute consommation d'énergie (gaz, bois, essence) doit être identifiée. Les FE utilisés sont ceux de l'ADEME qui répertorie l'intégralité des sources d'énergie en France et propose différentes unités de mesure (tep, GJ, kWh, kWh PCI, kWh PCS, etc.)

## VI.1.10.4. Les émissions véhiculaires

La méthodologie d'évaluation de l'empreinte carbone des projets d'infrastructure prend en compte les émissions produites par le projet suivant toutes ses phases de vie. À la différence des autres phases, la phase d'utilisation est particulière vis-à-vis du périmètre d'évaluation car l'impact induit par l'infrastructure ne se limite pas aux emprises du projet mais se répercute aussi sur d'autres axes routiers adjacents.

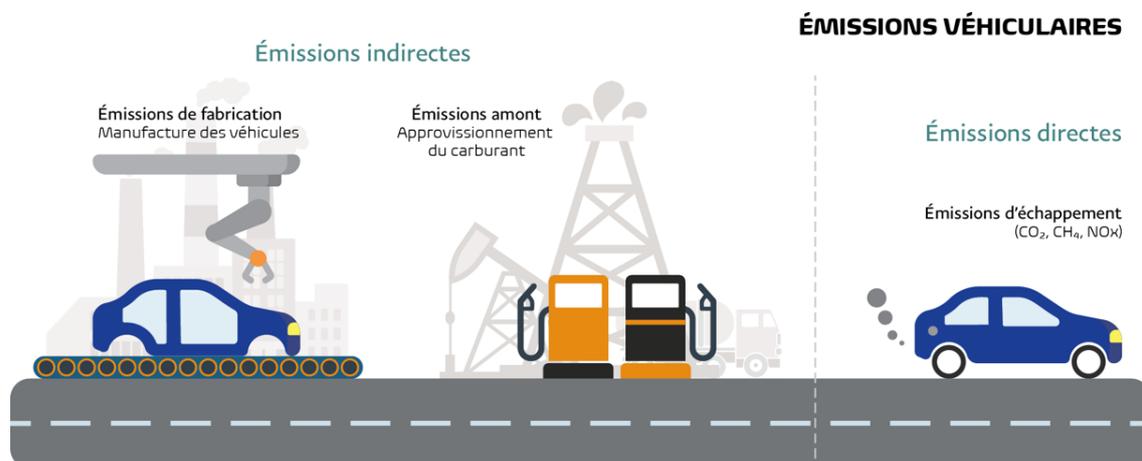
Le but de la méthode étant aussi d'évaluer les émissions GES induites par le projet d'infrastructure, l'impact en phase d'utilisation est estimé à partir de la variation des déplacements projetés des usagers par rapport à une situation de référence (qui résulte des modifications apportées par le projet sur le réseau de transport). Les impacts des projets d'infrastructure sur les réseaux de transport pris en compte pour l'évaluation GES sont : la diminution des distances parcourues, la modification des vitesses de circulation et la réduction des phénomènes de congestion.

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

Dans la comptabilité carbone, les émissions GES des véhicules sont de deux types : émissions directes et indirectes. Les émissions directes correspondent aux GES produits par la combustion des carburants consommés par les moteurs des véhicules et qui prennent place dans le périmètre d'évaluation. Les émissions indirectes correspondent aux GES émis en dehors du périmètre d'évaluation issus de la fabrication des véhicules et de la production et distribution des carburants consommés. Le schéma montré dans la **Figure 12** représente les différentes émissions GES.

Deux approches sont utilisées afin d'estimer les émissions GES des véhicules. La première est basée sur la méthode COPERT V. Elle permet le calcul des émissions directes à partir des facteurs de consommation (FC) de carburant (en g/véh.km) d'un parc véhiculaire moyen constitué de VL et PL. Il est à noter que les FC sont calculés par vitesse de circulation. Sur la base des consommations véhiculaires calculées pour l'ensemble des brins au sein du périmètre défini, seuls les FE des GES calculés par la méthode COPERT V sont retenus (kg CO<sub>2</sub>e/véh.km).

Figure 12 - Représentation des émissions indirectes et directes produites par l'utilisation des véhicules



La seconde approche consiste à utiliser la méthode développée par l'ADEME qui sert à calculer les émissions liées aux déplacements routiers. Cette méthode utilise des FE moyens qui prennent en compte les émissions liées à la fabrication des véhicules, l'approvisionnement de carburant et la combustion constatés en France. Puisque l'approche par la méthode COPERT V permet un calcul plus précis des émissions directes, seuls les FE de l'ADEME concernant les émissions indirectes sont utilisés pour compléter l'estimation de l'ensemble des émissions véhiculaires de GES.

## VI.2. Annexe 2 : Note de Calcul Détaillé du BGES

Cf. document « Annexe 2 - Report\_T7AMJ.pdf »