



Titre du document

Tâche 3.4 Traçabilité et calcul de CO₂

Tâche 3.5 Modèle analytique appliqué aux GES

Livrable : 3.5.1 : Première version de la méthodologie de calcul des GES

Auteurs: Esther LELEU (EL), Nicolas MALHENE (NM) (EIGSI)

Objet du document

L'objectif du document est:

- de proposer les indicateurs d'émission de GES calculés dans le cadre de NOSCIFEL
- de définir les calculs et les bases de données utilisées en accord avec les références sur le calcul de GES (MEDDE-ADEME, norme européenne NE16258) et les outils couramment utilisés (Bilan Carbone)
- de proposer une méthodologie de mise en œuvre dans le domaine de transport de marchandises.
- De présenter des exemples de calcul de GES en suivant la méthodologie proposée.

Commentaire [M1]:

Informations sur le document

Responsable	Référence	Description	Date livraison
EIGSI	T 3.5.1	Version 4	07/01/2014
EIGSI	T 3.5.1	Version 5	29/04/2014

Sommaire

1	Objectifs	3
1.1	Se conformer à l'obligation légale française	3

1.2	Respecter la méthodologie de la norme européenne	3
1.3	Etre le plus exhaustif possible	3
1.4	Trois indices pour trois calculs différents	43
2	Calcul des indices d'information CO ₂ et NE 16258.....	63
2.1	Périmètres utilisés.....	63
2.2	Calcul des émissions du moyen de transport	73
2.2.1	Estimation de la consommation du moyen de transport.....	73
2.2.2	Calcul des émissions du transport.....	73
3	Calcul d'indice d'émissions de GES	83
3.1	Périmètre utilisé.....	83
3.2	Calcul des émissions	103
3.2.1	Emissions des plateformes logistiques	103
3.2.2	Emissions de fabrication	123
3.2.3	Emissions de maintenance	183
3.2.4	Emissions liées aux infrastructures.....	203
4	Allocation des émissions du transport	303
5	Consolidation des résultats	323
6	Présentation des résultats	343
7	Cas pratiques	353
7.1	Exemple d'une chaîne de transport	353
7.1.1	Modélisation du cas concret	353
7.1.2	Calcul des émissions	363
7.1.3	Résultats : Emissions des unités de transport par indice	413
7.2	Exemple d'une prestation de messagerie.....	433
7.2.1	Modélisation du cas concret	433
7.2.2	Emissions du véhicule.....	443
7.2.3	Répartition aux UT.....	443
7.2.4	Résultats	453
8	Bibliographie.....	453
9	ANNEXES	493
9.1	Annexe 1 : Valeurs par défaut provenant de l'arrêté du 10 avril 2012	493
9.2	Annexe 2 : Facteurs d'émissions pour l'indice d'information CO ₂	543
9.3	Annexe 3 : Facteurs d'émission pour l'indice EN 16258	563
9.4	Annexe 4 : Facteurs d'utilisation d'énergie pour l'indice EN 16258	593

1 Objectifs

1.1 Se conformer à l'obligation légale française

Dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, l'Etat Français a mis l'accent sur l'information de la population sur les impacts des transports. [L'arrêté du 10 avril 2012](#) a fixé les modalités liées à l'information transmise.

Commentaire [M2]: Loi et décret à préciser

Ainsi, depuis octobre 2013, les transporteurs sont dans l'obligation de fournir une information relative à la quantité de CO₂ émise lors de la réalisation de leurs prestations de transport. Il est donc nécessaire que cette information soit fournie dans le cadre du calcul des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans NOSCIFEL. Le résultat obtenu sera nommé par la suite « Indice d'information CO₂ » et sera exprimé en masse de CO₂ émise.

La valeur de l'indice sera accompagnée d'une indication sur le niveau de données [MEDDE-ADEME](#) utilisé, précisant quel est le niveau de précision utilisé pour mener les calculs :

- niveau 1 : Utilisation de valeurs [par défaut fixées par l'arrêté](#),
- niveau 2 : Données basées sur des moyennes calculées par le prestataire sur l'ensemble de ses activités,
- niveau 3 : Données basées sur des moyennes calculées par le prestataire à partir d'une décomposition de son activité (par type de moyen de transport, par type d'itinéraire, etc.),
- niveau 4 : données réelles de la prestation de transport.

1.2 Respecter la méthodologie de la norme européenne

Une norme européenne a été publiée en décembre 2012. Elle visait à répondre aux besoins d'échanges d'informations normalisés entre les entreprises sur les émissions de GES. A ce titre, la norme est devenue le seul référentiel commun au niveau européen sur cette thématique.

Des calculs réalisés en accord avec la norme EN 16258 doivent donc également être présentés. Cependant, ces calculs n'étant pas réalisés exactement sur le même périmètre que ceux réclamés par la loi française, ni présentés de manière semblable, il est nécessaire de séparer ces deux informations en deux indices distincts.

Les résultats obtenus pour la norme européenne seront nommés « Indice EN 16258 » dans le cadre de la méthodologie NOSCIFEL. Ils seront exprimés en masse équivalente de CO₂ et en MJ (Mégajoules) en accord avec les exigences de la norme.

1.3 Etre le plus exhaustif possible

Un calcul plus complet sera également mené sur toute la chaîne logistique et sur tous les GES connus, dans la limite des connaissances scientifiques actuelles. Il s'inscrit dans une démarche proche de celle du Bilan Carbone, qui vise à étudier les émissions d'une activité sur un périmètre le plus large possible.

Les résultats seront exprimés en masse d'équivalent CO₂ émise. Cet indicateur sera nommé « indice GES ».

Il présente plusieurs avantages majeurs par rapport aux deux indicateurs précédents :

- Il se rapproche du Bilan Carbone, méthodologie et outil de calcul le plus utilisé en France,
- Il permet une comparaison juste des différents moyens de transport. En effet, ces derniers n'émettent pas les mêmes quantités de GES sur les différents postes de fonctionnement de leur cycle de vie. Ainsi une voiture électrique rejettera plus de GES lors de sa fabrication par rapport à une voiture thermique. De même, les modes routier, fluviaux ou ferroviaire sont tributaires d'infrastructures plus importantes que le maritime ou l'aérien.

Cependant, en raison de la difficulté d'accès aux données et de l'incertitude qui leur est associée, la fin de vie des véhicules ne sera pas prise en compte dans l'indice GES. Les filières de retraitement des moyens de transport en fin de vie sont en train de se mettre en place en Europe. En conséquence, les chiffres de leur fonctionnement ne sont pas encore facilement accessibles. De plus, il est parfaitement possible qu'elles ne soient pas suivies. C'est notamment le cas des navires transocéaniques qui finissent souvent leur carrière en Inde ou en Afrique.

Diverses études de la littérature ont estimé que cette phase est responsable de moins de 5% des émissions sur le cycle de vie des véhicules ^{[1] [2] [3]}. La négliger ne changera donc pas l'ordre de grandeur des résultats obtenus.

L'inconvénient majeur de l'indice GES porte sur son manque de standardisation. Il fait appel à des notions non prises en compte par l'indice EN 16258 ou l'indice d'information CO₂.

En effet, les deux premiers indicateurs se basent uniquement sur des données simples : la consommation des moyens de transport et la production des carburants. L'indice GES nécessite la collecte des données et la répartition des émissions des autres phases du cycle de vie. Ces dernières sont complexes. Elles ont lieu à diverses localisations et peuvent mettre en jeu des échelles de temps de plusieurs années, voire de quelques décennies, d'où la difficulté d'un consensus sur une méthodologie ou même, dans certains cas, sur une valeur d'émission.

En conséquence, les calculs associés exigent l'utilisation des mêmes facteurs d'émission et du même périmètre afin d'être comparables. L'indicateur GES permettra aux acteurs de la chaîne logistique de mieux gérer leurs émissions de GES, en intégrant toutes les étapes nécessaires aux fonctionnements de leurs activités. Cependant il ne permettra pas forcément de comparaison avec un autre indicateur d'émissions si ce dernier est calculé avec des valeurs ou une méthodologie différente que celle proposée pour NOSCIFEL.

1.4 Trois indices pour trois calculs différents

Les trois indices doivent être calculés séparément. En effet, ils ne recouvrent ni les mêmes périmètres, ni les mêmes GES. Ces derniers sont explicités sur le schéma suivant. Les méthodes de calcul sont détaillées dans la suite du présent document. Il est intéressant de remarquer que les indices suivent une logique réglementaire et normative différente : l'indice CO₂ est indispensable pour être conforme à la réglementation française, l'indice EN 16258

permet de suivre une norme européenne facultative et l'indice GES permet d'aller au-delà des référentiels connus dans le cadre d'une stratégie environnementale volontaire.

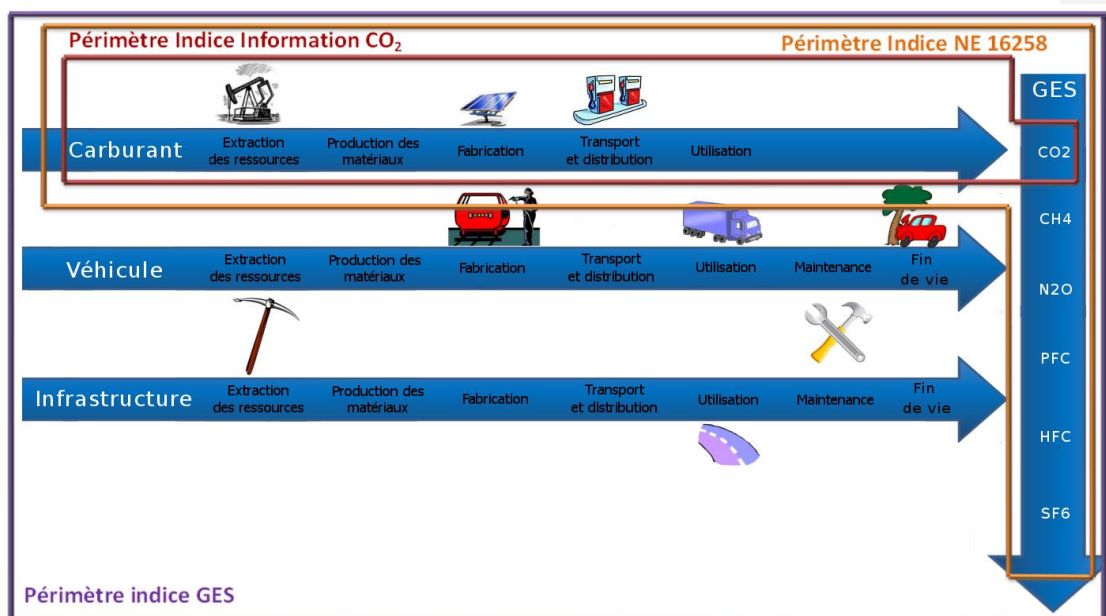


Figure 1 : Définition des différents périmètres utilisés dans NOSCIFEL

Des règles d'allocation des émissions seront ensuite mises en place de manière à répartir les émissions de manière équitable et transparente.

La méthodologie doit pouvoir couvrir les différentes étapes d'une prestation de transport (trajet en avion, en train, en camion, en péniche, sur de longue ou courte distance, pour de la messagerie, les étapes de stockage, etc.). Cependant, le cas particulier du transport de matières dangereuses n'est pas traité dans le cadre du projet NOSCIFEL.

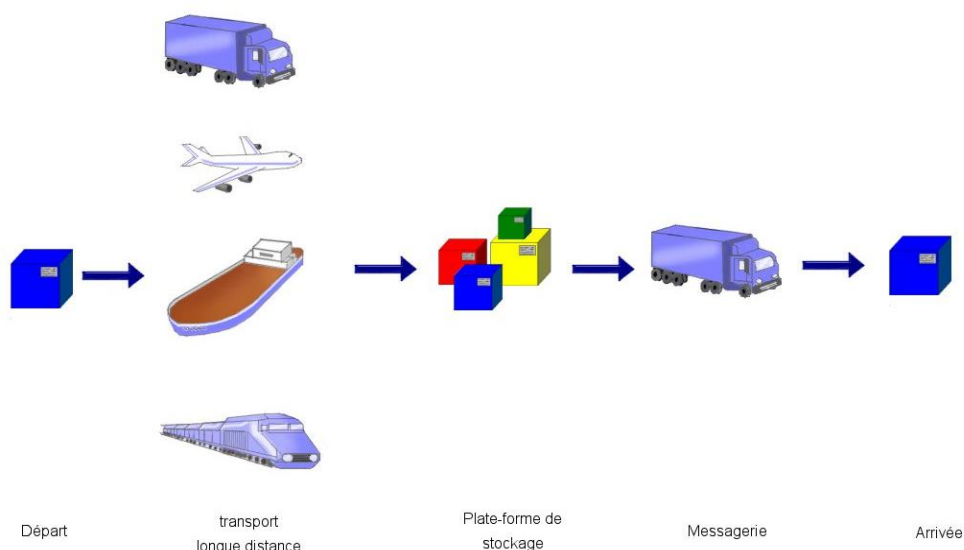


Figure 2 : Périmètre d'étude de NOSCIFEL

2 Calcul des indices d'information CO₂ et NE 16258

2.1 Périmètres utilisés

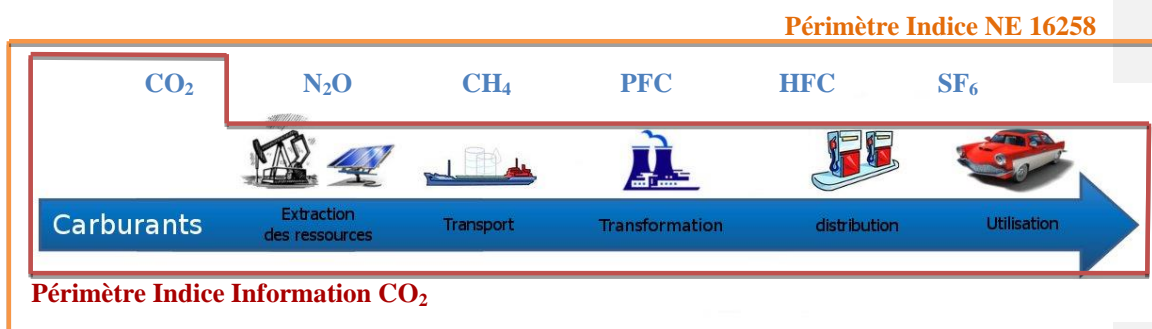


Figure 3 : Périmètres utilisés dans l'information CO₂ et la norme NE 16258

Les périmètres utilisés sont similaires pour la norme NE 16258 et pour l'information CO₂. Les émissions prennent en compte :

- La consommation de carburants utilisés pendant le transport des marchandises,
- Les émissions amont de ces carburants (fabrication, transport, distribution).

Les émissions suivantes ne sont pas considérées par les indicateurs d'information CO₂ et EN 16258 :

- Les impacts dans la haute atmosphère non liés à la combustion de carburant (formation de traînées de condensation, de nuages, etc.),

- Les émissions de fabrication, maintenance et fin de vie des véhicules et des infrastructures,
- Les émissions liées aux processus administratifs des organisations impliquées dans la prestation de transport,
- Les opérations d'assistance de court terme, par exemple le remorquage d'un bateau dans un port,
- Les émissions liées aux dispositifs de manutention ou de transbordement externes,
- Les émissions liées aux plates-formes de stockage.

2.2 Calcul des émissions du moyen de transport

2.2.1 Estimation de la consommation du moyen de transport

Si possible, on utilise une mesure de la consommation de carburant utilisée par le moyen de transport lors de la prestation.

Dans le cas où cette mesure n'est pas effectuée, ou si la mesure est visiblement erronée, la valeur est estimée en multipliant la distance parcourue par la consommation kilométrique du moyen de transport. Cette dernière est obtenue par ordre de préférence :

- Par l'intermédiaire de la consommation kilométrique moyenne du prestataire. Elle est obtenue en divisant la consommation annuelle de carburant du prestataire par le kilométrage réalisé sur la même période.
 - La consommation moyenne obtenue doit être rentrée préalablement par le prestataire dans la base de données de NOSCIFEL et doit être mise à jour au minimum tous les 3 ans. La moyenne peut être calculée :
 - soit sur la flotte de véhicule (niveau de précision 2 de la méthodologie [MEDDE-ADEME](#)),
 - soit sur un type particulier de véhicule de sa flotte si la flotte de véhicules utilisés est inhomogène (niveau de précision 3 de la méthodologie [MEDDE-ADEME](#)), par exemple dans le cas de véhicules thermiques et électriques, ou dans celui de poids lourds et d'utilitaires.
- Par des valeurs ~~par défaut~~, disponibles à l'annexe 1 du présent rapport, provenant de l'article du 10 avril 2012 pris pour l'application des articles 5, 6 et 8 du décret n° 2011-1336 (niveau de précision 1 de la méthodologie ADEME).

2.2.2 Calcul des émissions du transport

La consommation de carburant du moyen de transport sur la prestation ne suffit pas à renseigner l'utilisateur sur les émissions de CO₂ ou de GES associées. En effet, les combustions de divers carburants entraînent des dégagements de dioxyde de carbone différents pour une unité de masse ou de volume constante. Une conversion est donc nécessaire.

Elle effectuée par l'intermédiaire de facteurs d'émission. Ces derniers sont extraits de bases de données constituées par des experts.

Les facteurs d'émissions utilisés dans le cadre de l'information CO₂ réglementaire en France et ceux utilisés pour la norme NE 16258 sont différents. En effet, l'information CO₂

ne prend en compte que le dioxyde de carbone dans les calculs. En revanche, la norme intègre les 6 gaz à effet de serre du protocole de Kyoto :

- Le dioxyde de carbone (CO₂)
- Le méthane (CH₄)
- Le protoxyde d'azote (N₂O)
- L'hexafluorure de soufre (SF₆)
- Les hydrofluorocarbures (HFC)
- Les perfluorocarbures (PFC)

De plus, si l'indice d'information CO₂ ne nécessite le calcul que d'une seule valeur donnée en CO₂e (masse équivalente de CO₂), la norme exige la mise à disposition de quatre valeurs :

- La consommation d'énergie du puits à la roue (amont + utilisation)
- La consommation d'énergie du réservoir à la roue (utilisation)
- Les émissions de GES du puits à la roue (amont + utilisation)
- La consommation d'énergie du réservoir à la roue (utilisation)

Commentaire [M3]: Pas d'émissions GES

Les facteurs d'émissions pour l'indice d'information CO₂, pour les indices EN 16258 d'émission de GES et de consommations d'énergie sont respectivement disponibles aux annexes 2, 3 et 4 de ce rapport.

3 Calcul d'indice d'émissions de GES

3.1 Périmètre utilisé

Afin d'être en conformité et comparable aux méthodologies de calcul d'émissions de GES couramment utilisées, notamment le Bilan Carbone, le périmètre est défini sur la base de la norme ISO 14064.

Dans une volonté d'alignement sur les méthodologies de l'~~MEDE~~-ADEME, un périmètre de contrôle a été sélectionné¹. De plus, étant donné que la location de véhicules est courante au sein de la chaîne logistique, un contrôle opérationnel a été choisi² : toute activité ou moyen de transport utilisé par les prestataires de transport ou tout autre acteur logistique sera pris en compte indépendamment de l'identité de son propriétaire.

Au niveau du périmètre organisationnel, nous prendrons en compte :

- le scope 1 : les émissions directes liées à l'énergie,
- le scope 2 : les émissions indirectes liées à l'énergie, telles que les émissions liées à la production d'électricité,

¹ Deux périmètres peuvent être choisis : soit un périmètre financier, soit un périmètre de contrôle. Dans le premier cas, l'organisation doit inclure dans ses émissions les émissions d'une autre organisation à hauteur de sa prise de participation dans les biens et installations de celle-ci. Dans le deuxième, l'organisation comptabilise toutes les émissions des équipements et activités dont elle a le contrôle.

² Deux périmètres de contrôle peuvent être envisagés : un contrôle financier et le contrôle opérationnel. Dans le premier, tous les équipements dont le propriétaire est l'entité étudiée sont pris en compte. Dans le second, tous les équipements nécessaires à l'activité étudiée sont pris en compte, quel que soit l'identité de leur propriétaire. Dans le cas d'un matériel loué à une entité extérieure, les émissions sont comptabilisées dans le contrôle opérationnel, mais pas dans le contrôle financier.

- une partie du scope 3 : les émissions indirectes non liées à l'énergie.

Les émissions comprises dans le scope 1 seront définies selon la définition de l'ADEME afin que l'information CO₂ produite soit de même nature que celle préconisée par le guide méthodologique sur l'information CO₂ des prestations de transport. Notamment, les émissions amont et d'utilisation pour les carburants et les émissions in situ pour les gaz réfrigérants seront comptabilisées dans ce scope.

Le scope 2 comprendra les émissions liées à la consommation d'électricité.

Enfin, le scope 3 comprendra les émissions dues :

- à la fabrication, l'entretien et la fin de vie des véhicules,
- à la construction et à l'entretien des infrastructures.

Les calculs sont réalisés pour les 6 gaz du protocole de Kyoto, ainsi que pour les autres GES connus dans la mesure du possible.

3.2 Calcul des émissions

Le calcul des émissions liées à la combustion du carburant et à sa production peut être réalisé de manière similaire à celui pour la norme EN 16258. Seules les émissions du scope 3, et les émissions des plates-formes de stockage, de manutention et d'assistance aux véhicules ont besoin d'être calculées en supplément des informations données par la norme EN 16258.

Il est important de souligner que les émissions du scope 3 possèdent une plus grande incertitude que celles des scopes 1 et 2. En effet, elles portent sur des émissions indirectes, c'est-à-dire qui n'ont pas lieu sur le site d'utilisation du véhicule. Leur estimation est donc complexe.

Seront ici abordées :

- Les émissions des plates-formes logistiques,
- Les émissions de fabrications des véhicules,
- Les émissions de maintenance des véhicules,
- Les émissions de fabrications des infrastructures,
- Les émissions de maintenance des infrastructures,
- Les émissions de d'exploitation des infrastructures.

3.2.1 Emissions des plateformes logistiques

Lors de leur passage dans une plateforme logistique ou un entrepôt, les marchandises profitent des infrastructures et services associés. Les impacts associés sont d'autant moins négligeables que la durée de stockage est longue et que les marchandises prennent une place importante dans l'espace de stockage étudié.

Immobilisations

La Base Carbone préconise un facteur d'émission de construction de 275 kgCO₂e / m² pour les bâtiments industriels construits en métal. Ce ratio est proche de celui obtenu lors des calculs du Bilan Carbone d'une plateforme logistique réalisée en région lyonnaise ^[4]. La durée de vie du bâtiment est estimée à 30 ans.

On obtient un facteur d'émission annuel de 9 kgCO₂e / m².

Consommations énergétiques

La consommation énergétique provient majoritairement de l'éclairage et du chauffage des bâtiments. Ces deux postes représentent 80% des consommations pour les entrepôts non frigorifiques. Cependant l'utilisation d'énergie reste faible en comparaison d'autres bâtiments tertiaires. En effet, le chauffage des bâtiments reste limité (de 5°C à 15°C).

A ces deux postes s'ajoutent les émissions liées aux engins de manutention.

Le moyen le plus simple de calculer les émissions de GES annuelles est de se baser sur les consommations énergétiques réelles du bâtiment (électricité, gaz, fioul, diesel pour les engins de manutention), notamment grâce aux factures des fournisseurs d'énergie. On obtient les émissions de GES en multipliant ces consommations par le facteur d'émission associé.

Si les consommations énergétiques ne sont pas connues, on pourra appliquer par défaut un facteur d'émissions de 14,8 kgCO₂e/m².an^[5]. En multipliant cette valeur par la surface du bâtiment, on obtient une estimation de ses émissions annuelles.

Répartition des émissions aux marchandises

Il est nécessaire de répartir ensuite les émissions aux différentes marchandises. Cette répartition peut notamment être effectuée en fonction de leur poids et de leur durée de stockage. Dans ce cas, on multiplie le tonnage moyen stocké sur le site logistique par la durée où des marchandises y sont prises en charge (en général 365 jours). On obtient un ratio en tonnes.jours ou t.jours. Puis on divise les émissions totales du bâtiment par ce ratio pour obtenir le facteur d'émission moyen des marchandises en tCO₂e/t.jours.

Dans le cas où la surface du site ou le tonnage traité sur le site ne sont pas connus, on pourra s'appuyer sur les valeurs moyennes nationales donnée par le Commissariat Général au Développement Durable^[6].

Type	Surface moyenne en m ²	Taux de remplissage moyen en %			
		< 60%	60 à 80%	≥ 80%	Moyenne ¹
Total/Moyenne	18 500	272	1 016	1 803	79,9%
< 10 000m ²	6 900	135	466	842	79,8%
10 000 à 20 000 m ²	14 700	62	264	515	80,8%
20 000 à 35 000 m ²	26 500	55	154	274	79,1%
> 35 000 m ²	68 300	21	132	172	79,3%
non frigorifique	19 200	190	811	1 370	80,0%
frigorifique	16 200	81	205	434	79,8%
IAA	12 200	0	62	134	83,7%
Industrie	15 300	60	226	379	79,6%
Commerce	16 300	58	272	578	81,5%
Transport et entreposage	22 800	143	410	672	78,6%
Autres services	19 500	10	46	41	76,4%

Tableau 1 : Valeurs moyennes d'exploitation d'un site logistique avec zone de stockage

Un entrepôt classique stocke 1,5 palettes par m²^[7]. De plus Tollens prévoit 320 kg par palettes^[8]. On obtient une capacité d'environ 500 kg par m². Ce chiffre repose sur un cas particulier et doit être affiné si une statistique plus générale est trouvée.

Par exemple, si une marchandise passe par un entrepôt de taille comprise entre 10.000 et 20.000 m², et que l'on ne possède aucune donnée sur cet entrepôt, on considèrera qu'il a une taille de 14.700 m². On en déduit sa capacité de stockage maximale : 14.700 * 0,5 = 7350 tonnes. En moyenne, ce type d'entrepôt a un taux de remplissage de 80,8%. Donc l'entrepôt stocke en moyenne 5.900 tonnes de marchandises sur site. On considère que cet entrepôt est

¹ La moyenne a été calculé en dehors de l'étude du CGDD en utilisant des valeurs de 50%, 70% et 90% pour les taux de charge et 30, 60 et 90 jours pour les durées de séjour. Une incertitude de ± 10% leur est affectée.

ouvert 365 jours par an et on obtient un ratio de 2,1 millions de t.jours traitées annuellement par l'entrepôt.

De plus cet entrepôt émet annuellement $14.700 \times 9 = 132.300$ kgCO_{2e} liées à sa construction et $14.700 \times 14,8 = 217.600$ kgCO_{2e} liée à l'énergie, soit environ 350 tCO_{2e}. On obtient un ratio de 160 gCO_{2e} / t.jours de stockage sur ce site.

Donc si un lot de 500 kilos passe trois jours sur ce site, soit $0,5 \times 3 = 1,5$ t.jours, les émissions associées seront de $1,5 \times 160 = 240$ gCO_{2e}.

3.2.2 Emissions de fabrication

Avant d'être mis à disposition des transporteurs, les véhicules ont déjà engendré des impacts sur l'environnement en raison de leur production. Ces émissions sont loin d'être négligeables : entre 10% et 25% des émissions de GES sur le cycle de vie d'une voiture particulière. C'est pourquoi il a été choisi de les intégrer dans le périmètre de l'indice GES de NOSCIFEL.

Pour ce faire, il a été décidé de diviser les émissions de fabrication du véhicule par sa durée de vie kilométrique. Il est ainsi possible d'amortir les impacts liés à la fabrication sur toute la durée de vie du véhicule.

Transport routier

Le but était ici d'arriver à estimer les émissions de GES liées à la fabrication des véhicules utilitaires en fonction de leur poids à vide. Le ratio d'émission par kilomètre parcouru a été recherché ou calculé sur la base de diverses sources : EcoInvent^[9], la Base Carbone^[10], London Borough of Camden^[11] et l'Argonne National Laboratory^[12].

PTAC	EcoInvent	Base Carbone	Camden	Argonne
3,5t		40		
7,5t		65		
12t		69		
16t	33			
19 t		90		
26 à 28t	50	103		
30 à 36t		147		114
40t	69	110	118	

Tableau 2 : Facteur d'émission de fabrication des véhicules routiers en gCO_{2e}/km

Mis à part les valeurs calculées à partir d'EcoInvent, les résultats trouvés restent dans un même ordre de grandeur. Les valeurs de la Base Carbone seront utilisées pour le projet en raison de leur niveau de détail par classe de PTAC. Il est à noter que même si ces valeurs sont beaucoup plus pénalisantes que celle d'EcoInvent, elles ne représentent jamais plus de 12% de la valeur des émissions de carburant associées au véhicule.

Transport ferroviaire

En l'absence de données fiables et relatives à la construction de trains de marchandises, les données de construction TGV ont été utilisées pour la fabrication des locomotives. Cette approximation mène à une surestimation des émissions de construction. Sa mise à jour doit donc être effectuée si des données plus précises venaient à être publiées.

Construire 30 rames de TGV, pesant 390 tonnes chacune, entraîne l'émission de 95.000 tCO₂e, soit une émission de 8,1 tCO₂e / tonne de train. ^[13]

Le parc fret de locomotives SNCF est composé de 700 locos, dont 340 thermiques ^[14]. Il est constitué en majorité de :

- BB 26000, BB 27000, BB 36000 et BB 37000 pour les locomotives thermiques, pesant environ 90 tonnes ^[15],
- BB 60000 et BB 75000 pour les électriques pesant 80 tonnes en moyenne ^[15].

Un facteur d'émission de 2,5 tCO₂e/tonne de wagon a été estimé en se basant sur des données d'EcoInvent.

	Poids unitaire	Nombre d'unités	Total	Source
Poids locomotive	85 Tonnes	700	59 500 t	[15] [14]
Poids wagon	22,9 Tonnes	27000	618 300 t	[16] [17]
Poids total			677 800 t	

Tableau 3 : Emissions de fabrication des locomotives et wagons de la SNCF

Les émissions de fabrication des trains de la branche Fret de la SNCF se montent donc à 2 millions de tCO₂e. En prenant en compte une durée de vie de 30 ans pour les trains, l'amortissement annuel de ces émissions est de 67.200 tCO₂e.

En 2011, le transport ferroviaire de marchandises a représenté 34,2 milliards t.km et 67,95 millions de trains.kilomètres ^[18]. La SNCF possède une part de marché de 84,4% ^[19], elle a donc réalisé 28,9 milliards de t.km et 57,35 millions de trains.km.

En divisant les émissions de fabrication des locomotives et wagons en circulation par les tonnes.kilomètres ou les trains.kilomètres réalisés, on obtient les facteurs d'émissions suivants :

- Emission de fabrication par t.km : **2,3 gCO₂e/t.km**
- Emission de fabrication par train.km : **1 200 gCO₂e/km**

Transport maritime

Les calculs ont été menés sur deux navires maritimes, en se basant sur des données d'EcoInvent^[9].

	transoceanic freight ship	Gros Vraquier
Kilométrage annuel (km/an)	100 000	145 000
Durée de vie (ans)	20	27
Capacité de transport moyenne (t)	50 000	143 000
Taux de chargement	65%	50%
t.km totales sur durée de vie	65 000 000 000	279 501 000 000
Matériaux de construction :		
Acier renforcé (kg)	7 500 000	22 500 000
Cuivre (kg)	7 500	22 500
Peinture (kg)	11 000	19 100
Transport en camion 32t (tkm)	752 000	1 300 000
Transport par rail (tkm)	1 500 000	2 610 000
Electricité (kWh)	3 060	9 170
Fioul lourd (MJ)	99 000	198 000
Polyéthylène LDPE (kg)	1 570	4 700
Emissions GES totales (kgCO ₂ e)	11 181 730	33 371 603
Emissions GES (gCO₂e/km)	5 591	8 524
Emissions GES (gCO₂e/t.km)	0,172	0,119

Tableau 4 : Emissions de construction d'un navire

Les facteurs d'émission pour l'utilisation des deux navires calculés avec les données EcoInvent sont respectivement de 4,7 gCO₂e /t.km et 9,1 gCO₂e /t.km. Les impacts de fabrication trouvés sont donc compris entre 1% et 4% des émissions liées à l'utilisation.

Ce ratio est cohérent avec celui donné dans la documentation de la Base Carbone, égal à 3% :

« Si ce bateau [un gros vraquier d'environ 14 000 tonnes à vide] fonctionne 300 jours par an, pendant 30 ans, les émissions liées à la fabrication, ramenées à la journée, sont de l'ordre de 5,5 tonnes équivalent CO₂, à comparer à plus de 180 tonnes équivalent CO₂ (par jour) liées à l'emploi du carburant » (site de la Base Carbone, 2013)

Un ratio de 3% des émissions de fabrication est donc retenu dans le cadre de NOSCIFEL.

Transport fluvial

De même que pour le transport maritime, les calculs ont été effectués avec des données d'EcoInvent.

Type de navire	Barge tanker	Barge
Durée de vie (ans)	33	47
Capacité de transport moyenne (t)	1 200	1 000
Taux chargement moyen (%)	1	1
t.km totales sur durée de vie	738 600 000	881 100 000
Emissions GES (gCO ₂ e/t.km)	32	34

Matériaux de construction :		
Acier renforcé (kg)	318 000	265 000
Acier chromé (kg)	4 140	3 450
Acier de fonte (kg)	20 700	17 300
Aluminium (kg)	188	157
Cuivre (kg)	2 640	2 200
Polyéthylène HDPE (kg)	941	784
Caoutchouc synthétique (kg)	565	471
Peinture (kg)	1 880	1 570
Laminé-collé (m ³)	1	1
Laine de roche (kg)	3 390	2 830
Transport en camion 32t (t.km)	36 000	30 000
Transport par rail (t.km)	72 100	60 100
Electricité (kWh)	126 000	105 000
Fioul lourd (MJ)	4 080 000	3 400 000
Tuiles de céramique (kg)	1 320	1 100
Ciment (kg)	4 340	3 610
Polyéthylène HDPE (kg)	1 880	1 570
Emissions GES totales (kgCO ₂ e)	1 418 274	1 181 981
Emissions GES (gCO₂e/km)	1 636	953
Emissions GES (gCO₂e/t.km)	1,9	1,3
Ratio construction/utilisation	6%	4%

Tableau 5 : Emissions de construction d'une barge fluviale

Les émissions de fabrication des barges sont secondaires en comparaison de celles engendrées par l'utilisation des bateaux. Un ratio de 5% est utilisé dans le cadre de NOSCIFEL.

Transport aérien

Les calculs ont été réalisés sur la flotte d'air France.

Les moyens courriers de la flotte ont une durée de vie moyenne de 48.000 vols ^[20]. Les longs courriers effectuent 38.400 vols en moyenne ^[20]. On prend par hypothèse une durée de vie pour les avions cargos similaire à celle des transports de voyageurs.

En 2010, les différents sites de Boeing à travers le monde ont émis 1.717.000 tCO₂e ^[21]:

- Scope 1 : 595.000 tCO₂e, dont 213.000 tCO₂e sont liées à la branche américaine Defense, Space & Security (DSS) de la compagnie et 32.000 sont liées à la branche militaire en Australie.
- Scope 2 : 1.122.000 tCO₂e, dont 608.000 tCO₂e sont liés à la branche DSS de la compagnie et 18.000 sont liés à la branche militaire en Australie.

On obtient des émissions totales de 846.000 tCO₂e pour les avions non militaires.

La même année, la compagnie a livré 462 avions ^[22]:

- 376 Boeing 737,
- 12 Boeing 767,
- 74 Boeing 777.

La masse totale de ces avions est d'environ 26.500 tonnes. On peut en déduire que le montage d'un avion engendre 32 tCO₂e par tonne d'avion livrée.

A ces émissions s'ajoutent les émissions des matériaux entrants, nécessaires à la fabrication des avions. Les calculs ont été menés sur les avions suivants :

type	livraison 2012	poids à vide (kg)	Aluminium	Alliages Titane	Composites organiques	Acier	Autres
A320	455	42 400	58%	6%	20%	13%	3%
A330	103	121 453	73%	6,5%	10%	7,5%	3%
787	46	110 000	20%	15%	50%	10%	5%
A380	30	276 800	75%	7%	8%	7%	3%

Tableau 6 : Décomposition en matériaux de divers modèles d'avions ^{[23] [24]}

Les alliages d'aluminium utilisés dans l'aéronautique sont les alliages 2024 à l'état T3¹ et le 7075 à l'état T6². Les calculs ont donc été effectués sur ces deux types d'aluminium spécifiques. Un facteur d'émission des matériaux entrants d'environ 6 tCO₂e / tonne d'avion a été trouvé.

Au total la fabrication d'un avion entraîne l'émission de 38 tCO₂e par tonne d'avion.

¹ T3 : Traitement de l'aluminium par trempé, écrouissage et maturation

² T6 : Traitement de l'aluminium par trempé et revenu

Suite à l'étude de différents modèles d'avion, le poids moyen d'un moyen-courrier a été estimé à 43 tonnes et celui d'un long-courrier à 135 tonnes. D'où les facteurs d'émission suivants :

- **0,8 kgCO₂e par vol et par tonne d'avion** pour les moyens courriers,
- **1 kgCO₂e par vol et par tonne d'avion** pour les longs courriers.

Des modèles d'avions d'Airbus et Boeing, leur poids à vide, les émissions de fabrication absolues et amorties sur la durée de vie sont listées dans le tableau suivant. A titre de comparaison, sur un trajet de 3.500 km, un avion moyen-courrier, type A320, émet environ 80 tCO₂e par la combustion et la production des carburants.

Modèle d'avion	Poids à vide (tonnes)	Emission fabrication (tCO ₂ e)	Emissions fabrication amorties
A300	90	3424	89 kgCO ₂ e/vol
A310	81	3070	80 kgCO ₂ e/vol
A318	39	1493	31 kgCO ₂ e/vol
A319	41	1543	32 kgCO ₂ e/vol
A320	42	1611	34 kgCO ₂ e/vol
A321	48	1832	38 kgCO ₂ e/vol
A330-200	120	4545	118 kgCO ₂ e/vol
A330-300	125	4731	123 kgCO ₂ e/vol
A340-200 et 300	130	4940	129 kgCO ₂ e/vol
A340-500	175	6642	173 kgCO ₂ e/vol
A340-600	182	6912	180 kgCO ₂ e/vol
A380	277	10518	274 kgCO ₂ e/vol
B717	68	2565	67 kgCO ₂ e/vol
B727	45	1725	36 kgCO ₂ e/vol
B737	40	1520	32 kgCO ₂ e/vol
B747-400	181	6878	179 kgCO ₂ e/vol
B767-200ER	82	3116	81 kgCO ₂ e/vol
B777-200	140	5320	139 kgCO ₂ e/vol
B787-300	101	3838	100 kgCO ₂ e/vol
Moyenne moyen-courrier	43	1621	34 kgCO₂e/vol
Moyenne long-courrier	135	5115	133 kgCO₂e/vol

Tableau 7 : Emissions de fabrication pour différents modèles d'avions

On remarque que les émissions de fabrication sont négligeables en comparaison des émissions liées à la combustion de carburant pendant le transport. En prenant des distances moyennes de vols égales à 500, 3.500 et 6.500 km ^[25] pour les courts, moyens et long-courriers, alors on obtient :

- **70 gCO₂e /km** pour les court-courriers,
- **10 gCO₂e/km** pour les moyen-courriers,
- **20 gCO₂e/km** pour les long-courriers.

Synthèse

Mode de transport	Type de moyen de transport	Ratio d'émission de fabrication en gCO ₂ e/km
Routier	PTAC de 3,5t	40,3
	PTAC de 7,5t	65
	PTAC de 12t	69
	PTAC de 19t	90
	PTAC de 26t	103
	PTAC de 35t	147
	PTAC de 40t	110
Ferroviaire	Train	1200
Maritime	Bateau	3% des émissions liées au carburant
Fluvial	Barge	5% des émissions liées au carburant
Aérien	Petit avion	70
	Avion moyen	10
	Grand avion	20

Tableau 8 : Synthèse des ratios d'émissions de fabrication des véhicules de transport

3.2.3 Emissions de maintenance

Transport routier

La maintenance d'un véhicule routier intègre le changement des pièces d'usure (filtres, etc.) des pneus et des fluides du véhicule (liquide de frein, de refroidissement, huile de moteur, etc.)

Les émissions de maintenance d'un camion 32t européen représentent environ 25% des émissions de construction du véhicule ^[3]. Ce ratio sera conservé pour les autres types de camion. Ces émissions ne représentent que 2 à 3% des émissions de carburants et sont donc marginales sur le bilan global des émissions de gaz à effet de serre.

Transport ferroviaire

Selon une étude réalisée par l'ADEME, RFF et la SNCF en 2009, les émissions de maintenance de 30 rames TGV se montent à 24.100 tCO₂e sur 30 ans ^[13]. En l'absence d'autres données, ce chiffre sera utilisé dans le cadre de NOSCIFEL.

En utilisant ces données, on trouve des émissions annuelles pour la maintenance du parc de trains de fret de la SNCF de 46.500 tCO₂e.

Les activités de fret de la SNCF ont représenté 28,9 milliards de t.km et 57,35 millions de trains.km en 2011. Le facteur d'émission de la maintenance ferroviaire se monte donc à **1,6 gCO₂e/t.km** ou **811 gCO₂e/km**.

Ces émissions restent limitées dans le cadre des trains fonctionnant au diesel. Elles prennent cependant un tout autre ordre de grandeur dans le cas d'une propulsion électrique. Elles sont alors quasiment égales aux émissions liées à la production de l'électricité. En effet, comme l'électricité française repose majoritairement sur le nucléaire, elle est peu émettrice de GES.

Transport maritime

En se basant sur les données d'EcoInvent, il a été trouvé que les émissions de maintenance des bateaux étaient égales à 2% des émissions de fabrication, soit moins de 1% des émissions d'utilisation. Ces dernières ont une incertitude de 5%. Les émissions de maintenance peuvent donc être négligées car elles sont plus faibles que l'incertitude du résultat global.

Transport fluvial

Les calculs ont été menés sur des données d'EcoInvent. Des facteurs d'émissions compris entre 0,1 et 0,2 gCO₂e /t.km ont été trouvés, ce qui correspond à environ 10% des émissions de fabrication, soit 0,5% des émissions d'utilisation. La maintenance est donc négligeable dans la comptabilité GES du fret fluvial.

Transport aérien

La durée de vie moyenne d'un avion est de 30 ans. Cependant, une maintenance régulière est nécessaire pour atteindre ce résultat. Ainsi, diverses visites sont organisées tout au long de la vie de l'appareil :

- La visite de type A se tient approximativement tous les mois. Elle comprend une maintenance basique telle que le remplacement des huiles et des filtres. Le facteur d'émission associé est de 1300 kgCO₂e par intervention pour un petit porteur¹ et de 5000 kgCO₂e pour un gros porteur^[26]. Par linéarisation, on prendra une valeur de 3150 kgCO₂e pour un moyen porteur.
- La visite de type B, tous les 3 mois, vise à vérifier tous les systèmes tels que les équipements de secours ou les blocs de navigation. Cette intervention a tendance à disparaître en étant intégrée aux visites de type A et C.
- La visite de type C a lieu tous les 12 à 18 mois et dure environ une semaine. L'avion est alors vérifié minutieusement : la carlingue est passée aux ultrasons afin de détecter toute fissure, les pièces des moteurs et les câblages sont examinés, le bon fonctionnement des instruments de l'habitacle est contrôlé. Cet examen entraîne l'émission de 80 tCO₂e pour les petits porteurs et de 130 tCO₂e pour les gros porteurs^[26]. Par extension, l'émission sera de 105 tCO₂e pour un moyen porteur.
- La visite de type D est la plus lourde. Elle a lieu tous les 5 à 6 ans et dure de deux semaines à 3 mois selon le modèle, l'âge et l'état de l'appareil. Les constructeurs profitent de cette occasion pour installer les dernières innovations sur l'avion. Ce dernier est entièrement démonté et chaque composant est inspecté et réparé. Cette visite entraîne l'émission de 1000 tCO₂e pour un petit porteur et 2000 tCO₂e pour un gros porteur^[26], et de 1500 tCO₂e pour un moyen porteur.

Sur sa durée de vie, un avion a nécessité environ 360 visites de type A, 25 visites de type C et 5 visites de type D, soit 7.500 tCO₂e pour les petits porteurs, 11.250 tCO₂e pour les moyens porteurs ou 15.000 tCO₂e pour les gros porteurs.

¹ Un petit porteur est un avion transportant moins de 70 passagers. Un moyen porteur transporte entre 70 et 200 passagers et un gros porteur plus que 200 passagers. Les petits porteurs sont souvent des court-courriers, pour des trajets de 500 km en moyenne. Les moyens porteurs seront définis dans ce document comme étant les avions de moins de 60 t (poids à vide).

De plus, les avions doivent être dégivrés lors des périodes hivernales. Les avions nécessitent en moyenne 217 litres de dégivrants chaque année^[27], soit 975 kgCO₂e/an¹ ou 29,3 tCO₂e sur la durée de vie de l'avion.

En prenant une durée de vie de 48.000 vols pour les courts et moyens courriers et de 38.400 vols pour les longs courriers [20], et des distances moyennes de vols respectivement égales à 500, 3500 et 6500 km [25], on obtient des facteurs d'émission pour la maintenance de :

- **156 kgCO₂e /vol** ou **312 gCO₂e/km** pour les petits avions,
- **235 kgCO₂e /vol** ou **67 gCO₂e/km** pour les avions de taille moyenne,
- **393 kgCO₂e /vol** ou **60 gCO₂e/km** pour les avions de grande taille.

Synthèse

Les moyens de transport nécessitent d'être entretenus régulièrement durant leur vie. Si une maintenance n'entraîne pas forcément des émissions importantes, leur régularité peut entraîner des impacts.

Type de moyen de transport	Ratio d'émission de maintenance (en gCO ₂ e/km)
Routier	25% des émissions de fabrication
Ferroviaire	811
Maritime	2% des émissions de fabrication
Fluvial	10% des émissions de fabrication
Petit avion	312
Avion moyen	67
Grand avion	60

Tableau 9 : Synthèse des ratios d'émissions de maintenance des véhicules de transport

3.2.4 Emissions liées aux infrastructures

Selon le mode de transport, diverses infrastructures sont requises afin d'assurer l'acheminement des marchandises :

- des aéroports pour les avions,
- des routes pour les camions,
- des ports pour le transport maritime,
- des voies d'eau et des ports pour le transport fluvial,
- des rails pour les trains.

En raison du manque d'informations fiables, la phase de fin de vie des infrastructures ne sont pas prises en compte. Seules les phases de construction et d'entretien sont intégrées au périmètre.

¹ Prise en compte de la fabrication et de la fin de vie du dégivrant, pris comme étant du glycol, ainsi que de l'énergie de la dégivreuse.

Transport routier

La France comporte en 2012 plus d'un million de kilomètres de routes, très inhomogènes en matière de trafic, de largeur et de qualité du revêtement.

Type de voies	Longueur ^[28] (km)	Largeur (m)	FE ^[29] (kgCO ₂ e/m ²)	impact (ktCO ₂ e)
autoroutes concédées	8 575	16	100	13 475
<i>dont 2*3 voies</i>	2 100	21		
<i>dont 2*2 voies</i>	6 475	14		
autoroutes non concédées	2 834	16	100	4 453
routes nationales	9 748	7,6	65	4 816
routes départementales	377 857	7	40	99 754
routes communales et rues	654 201	6	35	128 223
total construction + entretien	1 048 237			250 722

Tableau 10 : Emissions de construction et d'entretien des infrastructures routières

Les émissions calculées ci-dessus comprennent la construction et l'entretien de la route pendant 30 ans. Il est nécessaire de leur ajouter les émissions liées au salage et désherbage, soit 460 kgCO₂e/km.an¹. On obtient un impact annuel moyen de 8,8 millions tCO₂e pour les infrastructures routières.

S'ajoutent à ces infrastructures 310 km de tunnels^[30] et 140 km de ponts^[31] (75 km en béton, 15 en acier et 54 mixtes) qui permettent le franchissement d'obstacles tels que les montagnes ou les fleuves, soit 150.000 tCO₂e supplémentaires¹.

Ce dernier résultat possède une forte incertitude. En effet, les facteurs d'émissions de la construction, de l'entretien et de l'utilisation des ouvrages d'art sont peu étudiés dans la littérature. De plus les données d'inventaire des ouvrages routiers ne sont pas nécessairement exhaustives. Cependant, même en doublant la valeur précédente, l'impact reste négligeable : il concerne moins de 2% des émissions de GES des infrastructures routières françaises. L'incertitude n'est donc pas porteuse d'erreurs majeures pour les résultats obtenus.

Au total, les émissions liées aux infrastructures routières se montent à environ 9 millions de tCO₂e. Le gigantisme de ce résultat s'explique par l'intensité du trafic qu'elles supportent. En 2011, il représentait [28]:

- 84 milliards de passagers.km en voitures particulières,
- 5,3 milliards de passagers.km en autobus et autocars,
- 316 milliards de t.km de fret, dont 54 en transit et 65 liés aux transports internationaux.

Deux facteurs ont été pris en compte pour répartir les émissions des routes entre le transport de voyageurs et celui de marchandises : l'usure liée aux conditions climatiques et celle engendrée par les véhicules.

¹ Le facteur d'émission a été calculé sur la base d'informations contenues dans un rapport d'EcoInvent^[9]

Usure climatique

Une étude conduite par Nix, Boucher et Hutchinson en 1992 dans le sud de l'Ontario a estimé que le climat contribuait à hauteur de 50% sur l'usure pour les routes fréquentées et jusqu'à 80% sur les routes secondaires. Le résultat pour les routes fréquentées est proche de ceux trouvés par Vitalino et Held en 1990 dans une analyse des dommages routiers de l'Etat de New York et de celui de Newbery dans une analyse des contributions climatiques au Royaume-Unis en 1988^[32].

En conséquence, un ratio de 50% sera retenu pour la suite des estimations. Cette usure s'applique quel que soit le type de véhicule circulant sur les routes. Les émissions de GES associées ont donc été réparties en fonction du nombre de véhicules empruntant annuellement les infrastructures françaises, indépendamment de leur poids ou de leurs activités.

Le parc de véhicules se composait au 1^{er} janvier 2012 de^[33]:

- 31.550.000 voitures particulières,
- 5.867.000 VUL,
- 13.000 véhicules de 3,5 à 5 tonnes de PTAC,
- 247.000 véhicules de 5 à 20 tonnes de PTAC,
- 98.000 véhicules de plus de 20 tonnes de PTAC,
- 206.000 tracteurs routiers,
- 86.000 autobus et autocars.

Les VUL sont utilisés dans 62% par des professionnels. Parmi ces derniers, seuls 4% appartiennent au secteur des transports, mais le transport de marchandises est un motif de déplacement pour 43% d'entre eux^[6].

Les véhicules de transport de marchandises représentent donc 5,6% des véhicules en circulation. Les émissions d'usure par le climat associées se montent à 250 000 tCO₂e. Le transport de fret a représenté 315,9 milliards de t.km^[28] et 43,3 milliards de véhicules.km^{1 [34]}^[35].

On obtient donc un facteur d'émission d'usure climatique du transport de marchandises de 5,8 gCO₂e/km et de 0,8 gCO₂e/t.km.

Usure par les véhicules

Les véhicules n'engendrent pas une usure des routes similaire selon leur utilisation. Il est généralement retenu que les dommages sont proportionnels à la charge de l'essieu à la puissance quatre. Cette loi a été construite sur la base de tests menés par l'AASHO en 1950. La principale faiblesse de cette équation provient de son incapacité à prendre en compte finement les paramètres entrant en compte dans l'usure : qualité et épaisseur des fondements, pneus et amortisseurs utilisés par les véhicules, etc. Cependant, en l'absence d'une autre loi présentant un consensus sur son application, elle a été utilisée dans la suite des calculs.

¹ Y compris VUL, y compris trajet à vide.

Afin d'estimer la part de responsabilité des différents type de véhicules dans l'usure des routes françaises, il a été nécessaire d'approximer la charge moyenne des véhicules en circulation. En effet, la dégradation des routes est significativement différente lorsque le véhicule est à pleine charge et lorsqu'il circule à vide, notamment dans le cas des poids lourds. Des données issues de l'ADEME ont été utilisées^[36] :

Type de véhicule	Millions de veh.km/jour	Taux de trajet à vide	Taux de chargement	Poids à vide	Responsabilité usure par les véhicules
Voitures particulières	1 100	0%	Influence marginale	1 200 kg	1%
VUL < 3,5t	249	20%	30%	1 500 kg	0%
3,5 t à 5 t	0,5	20%	30%	2 370 kg	0%
5 t à 12 t	8	19.5%	35%	4 100 kg	0%
12 t à 20 t	16	17%	42%	6 500 kg	12%
>20t	9	30%	50%	10 000 kg	13%
tracteur routier 40 t	19	21.1%	57%	15 000 kg	69%
Bus et Cars	8	0%	20%	6 500 kg	3%

Tableau 11 : Caractéristiques des véhicules routiers et influence sur l'usure des routes

Dans le cas des VUL, les professionnels roulent plus que les particuliers et possèdent des véhicules de plus grand gabarit. Ils sont responsables de 77% des impacts des VUL^[6]. Nous avons vu précédemment que seuls 43% des déplacements des professionnels sont liés à un transport de marchandises. On considérera par la suite que 50% des déplacements de VUL sont liés au fret.

Le transport de marchandises est donc responsable de 96% de l'usure des routes liée aux véhicules, soit 4,3 millions de tCO₂e. Le facteur d'émission du fret est donc égal à 100 gCO₂e/km.

Cette valeur moyenne masque cependant de très grandes disparités entre les différents types de véhicules. En effet, plus le véhicule est chargé, plus la charge à l'essieu est élevée, et plus l'usure de la route est importante.

En charge	veh.km/an (en millions)	Emissions en tCO ₂ e	FE gCO ₂ e/km	Facteur d'usure par rapport à une voiture
VUL (< 3,5t)	24 159	3 918	0,2	1,8
3,5 t à 5 t	172	151	1	10
5 t à 12 t	2 840	20 671	7	80
12 t à 20 t	5 844	568 584	97	1 074
>20t	3 283	559 275	170	1 880
tracteur routier 40 t	7 025	2 919 619	416	4 586
Totaux et moyennes	43 322	4 072 218	94	1 037

Tableau 12 : Ratio d'usure des infrastructures par les véhicules utilitaires

Usure totale

Au total, le transport de marchandises est responsable de 50% des émissions des infrastructures, soit 4,5 millions de tCO₂e.

En 2011, 315,9 milliards de t.km et 43,3 milliards de véhicules.km ont été effectués pour le transport routier de marchandises. On obtient donc des facteurs d'émission moyens, tous véhicules confondus, de **14 gCO₂e/t.km** et **100 gCO₂e/véhicules.km**.

L'usure liée aux véhicules étant prépondérante par rapport à l'usure climatique, les valeurs d'émission présentent de grandes disparités en fonction des gabarits des véhicules utilisés lors de la livraison. Lorsque la donnée est disponible, il est préférable d'utiliser les facteurs d'émissions calculés pour chaque type de camion.

FE en gCO ₂ e/km	usure véhicule	usure climat	total
VUL (< 3,5t)	0,2	5,8	6
3,5 t à 5 t	0,9	5,8	7
5 t à 12 t	7,7	5,8	14
12 t à 20 t	103	5,8	109
>20t	180	5,8	186
tracteur routier 40 t	439	5,8	445
moyenne	100	5,8	106

Tableau 13 : Synthèse de l'usure climatique et de l'usure par des véhicules routiers

Transport ferroviaire

Les travaux de génie civil liés à la construction d'une voie TGV vont entraîner l'émission d'environ 2.900 tCO₂e par kilomètre construit (sans prendre en compte les émissions de conception ou le transport de personnes liés à cette construction). La construction des équipements ferroviaires (caténaires, signalisation, etc.) entraîne l'émission de 420 tCO₂e supplémentaires par km^[13].

La construction de voies menant à des bases de maintenance engendre 770 tCO₂e / kilomètre linéaire^[13]. Les lignes non LGV (Ligne à Grande Vitesse) subissent plus de trafic que les voies de maintenance. Leur facteur d'émission sera fixé à 1000 tCO₂e par kilomètre, auxquels il est nécessaire d'ajouter les émissions des équipements ferroviaires.

La France compte 29.716 km de voies ferrées, dont 1.945 km de LGV et 16.500 km de lignes à deux voies ou plus, soit 69.322 ktCO₂e^{[28] [37]}.

On prend en compte une durée de vie des infrastructures de 100 ans^[13]. Les émissions de construction des lignes amorties sur un an se montent à environ 693.222 tCO₂e. En 2011, 500 millions de trains.km ont été parcourus sur le réseau ferré^[28]. On en déduit que le facteur d'émission de construction des infrastructures ferroviaires est de **1,4 kgCO₂e / train.km**.

Les émissions de maintenance des infrastructures est de 2,37 tCO₂e par an et par kilomètre^[13], soit une émission annuelle de 70.000 tCO₂e pour le réseau français. Les émissions ramenées aux trains.kilomètres parcourus sont de **140 gCO₂e/trains.km**.

Transport maritime

Emissions de construction

Les calculs ont été menés sur des données d'EcoInvent^[9]. Les infrastructures liées aux transports maritimes sont concentrées dans les infrastructures portuaires. En se basant sur un inventaire de cycle de vie du port de Rotterdam, des ratios d'émission de 0,10 gCO₂e /tkm et 0,06 gCO₂e /tkm ont été respectivement calculés pour des navires de 50.000 et 143.000 tonnes de capacité de transport.

Aucun besoin de maintenance supplémentaire n'est indiqué dans le document d'EcoInvent.

Emissions d'exploitation

En 2010, une étude centrée sur l'énergie et les émissions associées au passage portuaire de marchandises a été réalisée sur les sept Grands Ports Maritimes français. Le passage maritime commence à la fin de la « route libre » du navire, quand la machine de propulsion ne fonctionne plus en régime permanent. Cette étape est en général marquée par l'embarquement du pilote ou par le début du mouillage d'attente. A l'inverse, le passage maritime se termine quand le navire est de nouveau en route libre.

Pour les marchandises, cette période inclut le temps où la marchandise est à bord du navire et toutes les opérations de manutention : bord / terre, terrestres interne au terminal portuaire, terrestre vers un autre mode de transport (route, rail, etc.)

Les émissions calculées incluent :

- Les émissions localisées dans le périmètre du port liées aux opérations sur les navires et à l'activité des équipements fixes et mobiles participant directement à la manutention des produits,
- Les émissions indirectes liées aux activités nécessaires au fonctionnement de l'activité portuaire (bureaux, éclairage des quais, écluses, etc.),
- Les émissions en dehors du périmètre portuaires liées à la production d'électricité.

Parmi les GES, seul le CO₂ est étudié. Cependant, dans le cadre du fret maritime, le CO₂ représente 99% des GES émis. La différence avec un bilan GES complet n'est donc pas significative. Des ratios en kgCO₂e/tonne manutentionnée sont indiqués. Les navires maritimes parcourent en moyenne 7500 km [38]. On peut donc obtenir des ratios en kgCO₂e/tkm.

Filière	Conteneurs	Vrac solide	Vrac liquide	Rouliers	Moyenne
Ratio gCO ₂ e/t [39]	6 510	3 710	3 730	5 350	4 248
Ratio gCO ₂ e/tkm	0,87	0,50	0,50	0,71	0,57

Tableau 14 : Ratios d'émission pour le passage portuaire

Il est important de noter que 82% de ces émissions sont associées à des activités « maritimes » : dragage, approche du navire, manœuvre, période à quai, remorquage, lamanage, pilotage. Les émissions « terrestres » représentent 18% des émissions et sont liées à 86% à des opérations de manutention à quai.

Dans le cadre de NOSCIFEL, il est nécessaire de ne pas faire de double compte. Les phases d'approche, de manœuvre et le carburant consommé à quai sont déjà comptabilisés dans la consommation du navire. En conséquence, les ratios donnés par l'étude ont été réévalués pour les adapter au projet :

- Conteneurs : 1530 gCO₂e/t et 0,20 gCO₂e/tkm,
- Vrac liquide : 1060 gCO₂e/t et 0,14 gCO₂e/tkm,
- Vrac solide : 870 gCO₂e/t et 0,12 gCO₂e/tkm,
- Rouliers : 1140 gCO₂e/t et 0,15 gCO₂e/tkm,
- Moyenne : 1090 gCO₂e/t et 0,15 gCO₂e/tkm.

EcoInvent préconise des valeurs du même ordre de grandeur pour le trafic maritime mondial, ce qui renforce la crédibilité des valeurs trouvées précédemment.

Transport fluvial

Emissions de construction

Selon EcoInvent ^[9], la demande de port du transport fluvial est dix fois plus importante que celle du transport maritime. On obtient donc des émissions de construction des ports d'environ **1 gCO₂e/tkm**.

De plus, le transport fluvial nécessite des canaux. Le réseau français compte 8500 km de voies navigables. 6700 sont gérées par VNF, 1000 ont été transférées à des collectivités territoriales et 700 sont directement gérées par l'Etat. Enfin les ports maritimes possèdent quelques voies.

Les voies gérées par l'Etat et les collectivités semblent peu favorables au développement d'un transport de marchandise important. De plus, le réseau VNF est dissocié en deux réseaux :

- 4100 km de réseau magistral, principalement utiles au transport de marchandises,
- 2600 km de réseau régional, plutôt orientées vers le tourisme fluvial.

En conséquence, l'amortissement de 4200 km de voies a été affecté au transport fluvial de fret. Sachant que la construction, l'exploitation et la maintenance des canaux émettent annuellement 58,6 kgCO₂e/m ^[9], le réseau fluvial lié au fret entraîne chaque année l'émission de 246.100 tCO₂e. De plus, ce réseau a supporté 7,9 milliards de tkm en 2011. On obtient un facteur d'émission de **30 gCO₂e /tkm**.

Ce facteur d'émission est deux fois supérieur à celui trouvé en exploitant les données en tkm d'EcoInvent. Ces résultats peuvent être expliqués par un kilométrage important de voies navigables en France ainsi qu'à une sous-utilisation de notre réseau par rapport à d'autres pays européens tels que l'Allemagne, la Belgique ou les Pays-Bas.

Il est cependant nécessaire de souligner que ce ratio est amené à diminuer au vu de l'augmentation du trafic fluvial. En effet ce dernier a augmenté de 38,4% sur les quinze dernières années.

Emissions d'exploitation

De même que pour la construction, les émissions du transport fluvial liées à l'exploitation des ports sont calculées en multipliant celles du transport maritime par dix, soit un facteur d'émission de **1,5gCO₂e/tkm** en moyenne.

Total

Les émissions associées aux infrastructures fluviales se montent à **32,5 gCO₂e /tkm**, soit presque autant que les émissions de transport en elles-mêmes.

Transport aérien

Emissions de construction

Le transport de marchandises par avion nécessite des infrastructures aéroportuaires pour pouvoir fonctionner normalement. Sur les 157 structures aéroportuaires françaises, seuls 45 aéroports ont accueillis des vols commerciaux ayant transporté au minimum 5 tonnes de fret cumulées annuelles en 2012. Ils représentent notamment :

- 6 791 775 m² de pistes bitumées (passagers et fret),
- 915 600 m² de pistes en béton (passagers et fret),
- 543 111 m² d'aérogares de fret,
- 19 150 m² bureaux et magasins liés au fret,
- 12 215 m² d'aires de stockage revêtues,
- 62 720 m² de hangars pour les avions (passagers et fret),
- 127 550 m² de stationnements réservé au fret,
- 4 961 580 m² d'aires de stationnement (passagers et fret) (donnée collectée quand la surface de stationnement associée au fret n'était pas disponible).

Certaines valeurs sont communes aux transports de voyageurs et de marchandises. Il est donc nécessaire de séparer la part du fret du reste des données. Or cet exercice est rendu délicat par la présence de transports mixtes (transport de voyageurs et de marchandises dans le même avion). Deux méthodes ont été utilisées pour tenter de l'évaluer : une approche financière et une par émissions de GES.

Approche financière

L'approche financière provient des indices de la valeur de production des branches de transport du SOeS. L'indice du transport aérien de marchandises est de 2,0%, auquel il faut ajouter 0,3% lié aux services annexes aéroportuaires de fret. Celui du transport de voyageur est de 11,8%, plus 1,7% de services annexes aéroportuaires de voyageurs ^[40]. On obtient que le transport aérien total est responsable de 15,8% de la valeur de production des branches de transport, et que le fret représente 15% du transport aérien total.

Approche par émission de GES

Afin de vérifier la validité de ce ratio, un deuxième calcul indépendant est mené afin de déterminer les émissions de gaz à effet de serre (GES) du transport de voyageurs et du transport de marchandises.

Selon une extraction de 2012 d'Eurostat, 126,3 millions de voyageurs ont utilisé l'avion en 2010 ^[41]. Ils ont réalisé en moyenne 2400 km selon la DGAC. On obtient que le transport de voyageurs a été équivalent à 303 milliards de personnes.km en 2010. Avec un facteur d'émissions égal à 121 gCO₂e par passager.kilomètre ^[10], On obtient que le transport de voyageur a émis 36,7 millions de tCO₂e.

Selon les statistiques mondiales de l'aviation civile et de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), le transport aérien de marchandises a représenté 6,62 milliards de t.km. Cependant, il est précisé que cette donnée peut être sous-estimée d'environ 30%. Le facteur d'émission associé est égal à 1,07 kgCO₂e par t.km^[10]. Au total, le transport de marchandises a émis 7,1 millions de tCO₂e.

Le transport aérien représente donc 16% des émissions liées à la combustion des transports aériens. Si le fret était 30% plus élevé que la donnée fournie par OACI, on obtient de la même manière des émissions de GES égales à 9,2 millions de tCO₂e, soit 20% des émissions de transport aérien.

Répartition des émissions de construction

Les ratios obtenus sont proches : 15% et 16 à 20%. Un ratio de 17% sera utilisé par la suite.

La FNAM recommande d'amortir les émissions des biens à longue durée de vie :

- Sur 50 ans pour les pistes, routes et parking d'avions,
- Sur 30 ans pour les autres biens.

Avec ces données, la fabrication des infrastructures pour le transport aérien de marchandises est responsable chaque année de l'émission de 23.229 tCO₂e. Les calculs ont été effectués sur des aéroports où 2.624.688 tonnes de marchandises ont transitées en 2012. On obtient donc un facteur d'émission moyen de 8,5 kgCO₂e/tonne. En estimant les chargements et distances moyens des court-courriers, moyen-courriers et long-courriers respectivement égaux à 15 tonnes, 42 tonnes et 110 tonnes^[36] et 500 km, 3500 km et 6500 km^[25].

- **270 gCO₂e/km** ou **18 gCO₂e/t.km** pour les court-courriers,
- **110 gCO₂e/km** ou **2,5 gCO₂e/t.km** pour les moyen-courriers,
- **150 gCO₂e/km** ou **1,4 gCO₂e/t.km** pour les long-courriers.

Emissions de maintenance

Aucunes émissions de maintenance des aéroports ne sont intégrées au bilan. En effet, les émissions de construction des infrastructures rapportées aux tonnes.kilomètres transportées sont négligeables par rapport à celles engendrées par la combustion des carburants des avions. Elles représentent moins de 1% des émissions totales pour l'aérien. Les impacts engendrés par la maintenance seront du même ordre de grandeur, voire inférieures, et peuvent donc être négligées.

Emissions d'exploitation

Les émissions d'exploitation ont été partiellement prises en compte dans l'entretien des avions (opération de dégivrage, etc.). Cependant, l'assistance en piste des avions et la manutention n'ont pas été comptabilisées.

La FNAM préconise des facteurs d'émissions de 70 kgCO₂e/touchée pour les petits et moyens porteurs et de 700 kgCO₂e/touchée pour les gros porteurs^[26], soit 140 kgCO₂e/vol pour les petits et moyens porteurs et 1 400 kgCO₂e/vol pour les gros porteurs.

En prenant des distances moyennes de vols pour les courts, moyens et long-courriers respectivement égales à 500, 3500 et 6500 km^[25], on obtient des facteurs d'émission moyens égaux à :

- **280 gCO₂e/km** pour les court-courriers,
- **40 gCO₂e/km** pour les moyen-courriers,
- **215 gCO₂e/km** pour les long-courriers.

Selon la FNAM, les émissions liées à la manutention d'un colis dans un aéroport sont de 130 kgCO₂e/tonne de colis^[26]. Le périmètre suivant a été utilisé.

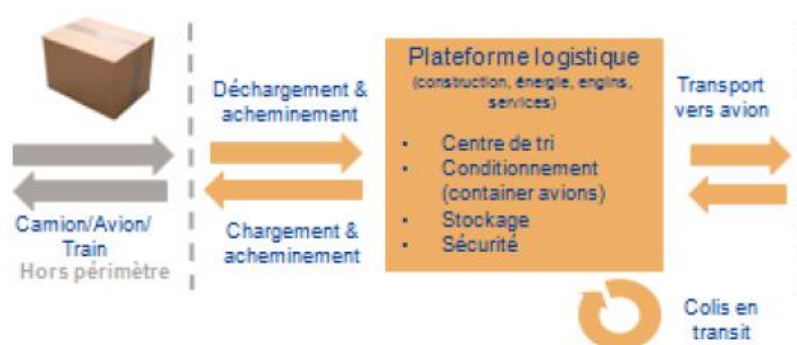


Figure 4 : Représentation schématique du périmètre considéré pour l'évaluation des émissions du passage des marchandises ; source : FNAM, [26]

Le facteur d'émission de la FNAM prend en compte un certain nombre de paramètres non comptabilisés pour NOSCIFEL, tel que le déplacement domicile-travail des salariés (environ 30% des émissions). Il prend également en compte les amortissements des bâtiments et du tarmac qui ont déjà été comptabilisés. Afin de prendre en compte ces aspects, ces postes ont été retirés du précédent ratio.

Le facteur d'émissions a ainsi été réévalué à 65 kgCO₂e/tonne de fret, soit :

- **2 000 gCO₂e/km** pour les court-courriers,
- **780 gCO₂e/km** pour les moyen-courriers,
- **1 100 kgCO₂e/km** pour les long-courriers.

Total

Les émissions liées aux infrastructures aéroportuaires sont de :

- 2,5 kgCO₂e/km pour un court-courrier, soit 4% des émissions liées au carburant,
- 0,9 kgCO₂e/km pour un moyen-courrier, soit 1% des émissions liées au carburant,
- 1,5 kgCO₂e/km pour un long-courrier, soit 1% des émissions liées au carburant.

Synthèse

Mode de transport	Type de transport	FE
Routier	VUL (< 3,5t)	6 gCO2e/km
	3,5 t à 5 t	7 gCO2e/km
	5,1 t à 12 t	15 gCO2e/km
	12,1 t à 20 t	110 gCO2e/km
	>20t	190 gCO2e/km
	Tracteur routier 40 t	445 gCO2e/km
	Moyenne	100 gCO2e/km
Ferroviaire	Train	1400 gCO2e/km
Maritime	Bateau	0,25 gCO2e/ tkm
Fluvial	Bateau	32,5 gCO2e/ tkm
Aérien	Court-courrier	2 500 gCO2e/km
	Moyen-courrier	900 gCO2e/km
	Long-courrier	1500 gCO2e/km

Tableau 15: Tableau de synthèse des émissions d'infrastructures par mode de transport

Les émissions maritimes et fluviales sont données par tkm. Pour retrouver les émissions du moyen de transport, il sera donc nécessaire de les multiplier par la distance parcourue par le véhicule et par le poids de son chargement.

4 Allocation des émissions du transport

Méthode imposée par les référentiels

La norme NE 16258 préconise en général une allocation des émissions de transport aux différents bénéficiaires en fonction des tonnes.kilomètres réalisées lors de la prestation. Cependant, elle laisse la porte ouverte à d'autres solutions : « *Il est possible de remplacer la masse, en tant que paramètre pour la quantité de fret, par une autre unité, en particulier si elle est plus pertinente pour la capacité limitée du véhicule* »^[42]. En conséquence, il est possible d'allouer les émissions par :

- Allocation par distance uniquement,
- Allocation par activité de transport uniquement, définie par exemple en EVP, en volume, en surface dédiée à l'activité de transport, etc.
- Par distance et par activité, mesurée par exemple en EVP.km, m3.km, etc.

Cette démarche est compatible avec celle préconisée par l'ADEME dans son guide méthodologique sur l'information CO₂ des prestations de transport^[43].

La distance utilisée pour le calcul est :

- La distance réelle parcourue sauf éventuellement pour les tournées de collecte et de distribution,

- La plus courte distance possible pouvant être réalisée par le moyen de transport pour acheminer les marchandises entre leur point de départ et d'arrivée pour les tournées de collecte et de distribution,
- La distance orthodromique + 95 kilomètres pour les transports en avion.

Dans le cas d'un transport mixte de marchandises :

- En avion, la masse à prendre en compte est la masse des marchandises et celle des passagers et de leurs bagages. Cette dernière doit préférentiellement provenir de la documentation de masse et centrage du vol. Si cette information n'est pas disponible, une valeur par défaut de 100 kg par personne sera utilisée (masse incluant le voyageur et ses bagages).
- En bateau, la masse à prendre en compte regroupe la masse des marchandises, celle des voyageurs et celles des véhicules accompagnés. Si la masse des véhicules n'est pas disponible, les données [de la norme européenne](#) du tableau suivant peuvent être utilisées :

Type de véhicule	Masse en kg
voiture	1500
autocar	15000
Caravane (3*3 mètres)	1000
Caravane (6*3 mètres)	2000
Caravane (10*3 mètres)	2500
Camping-car	3500
motocycle	200
Remorque non accompagnée	8000
Remorque accompagnée/articulée (semi / méga remorque plus tracteur)	16000
Train routier continent	18500
Train routier Scandinavie	20000

Tableau 16 : valeur par défaut des masses des véhicules accompagnés en bateau ^[42]

Précisions sur la méthodologie NOSCIFEL

Les recommandations de la norme NE 16258 restent trop vagues dans le cadre de NOSCIFEL. Il a été décidé de faire les allocations sur la distance et sur une unité de mesure de l'activité cohérente par rapport au mode utilisé. C'est pourquoi une méthode a été développée afin de mieux quantifier l'unité la « plus pertinente pour la capacité limite du véhicule ».

Deux unités d'activité peuvent être retenues : la masse et le volume. Afin de définir laquelle est la plus pertinente pour la prestation étudiée, la masse volumique du chargement idéal du moyen de transport est calculée :

$$P_{idéale} = \frac{\text{Masse maximum transportable par le moyen de transport}}{\text{Volume maximum transportable par le moyen de transport}}$$

Puis la masse volumique réelle du chargement est comparée à cette masse volumique idéale. L'unité de mesure de l'activité est choisie comme étant :

- la masse si la masse volumique des marchandises est supérieure à la masse volumique idéale,

- le volume si la masse volumique des marchandises est inférieure à la masse volumique idéale.

Les distances utilisées sont celles conseillées par la méthodologie [MEDDE-ADEME](#) et par la norme. En effet, elles ont l'avantage d'être au plus proche de la réalité dans les cas généraux, indépendantes des facteurs subjectifs dans le cas de la messagerie (tel que le sens de tournée). ~~De plus, si la distance la plus courte possible est disponible, elle sera préférentiellement utilisée plutôt que la distance orthodromique.~~

Si la prestation étudiée nécessite l'utilisation plusieurs mode de transport ou si la charge du véhicule varie au cours du temps, alors le calcul est mené sur les différents segments de la prestation¹.

Enfin, si l'une des données permettant de calculer les masses volumiques du véhicule ou du chargement est manquante, l'affectation est réalisée par masse.distance si on possède la masse des marchandises transportée, par volume.distance sinon. Si aucune ni la masse, ni le volume ne sont disponibles, on pourra utiliser le nombre d'UT.distance en dernier recours.

5 Consolidation des résultats

Les émissions totales d'un transport s'effectuent par la somme des émissions sur les segments le constituant. Le calcul par segment permet également la gestion des groupages et dégroupages des unités transportées.

¹ Un segment est défini comme « toute partie de l'itinéraire emprunté ou à emprunter pour réaliser une prestation de transport sur laquelle la personne ou la marchandise est transportée par le même moyen de transport »^[43]

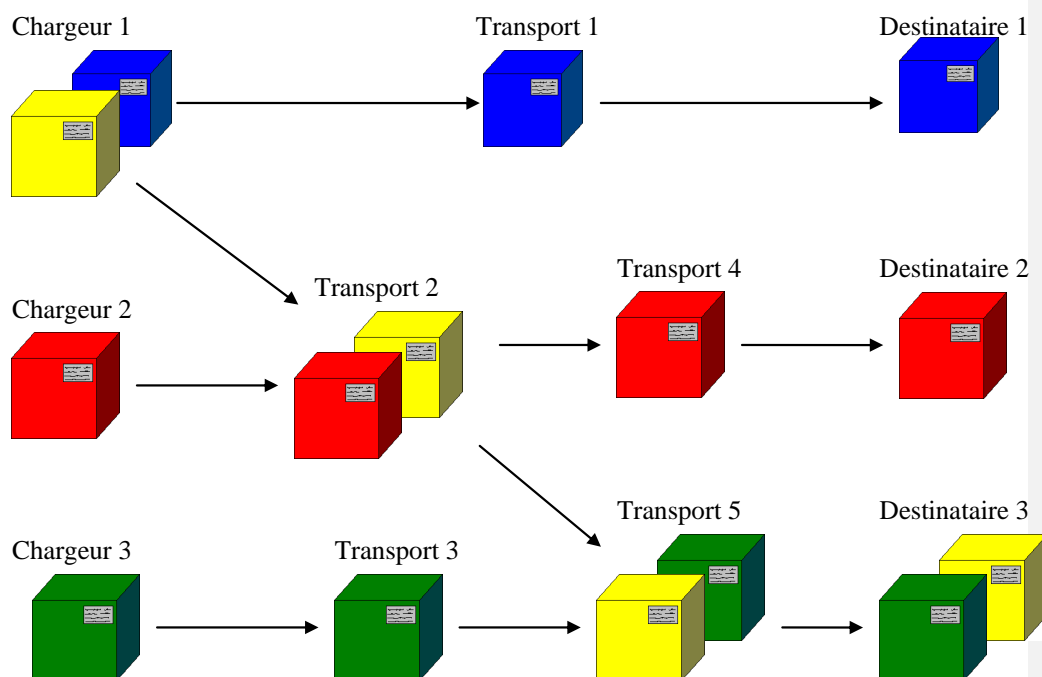


Figure 5 : Schéma d'un système de livraison

Le schéma précédent représente un schéma de transport simplifié : trois chargeurs envoient 4 colis à trois destinataires différents. Même si la réalité est plus complexe, avec des milliers de chargeurs et de destinataires s'envoyant ou recevant des marchandises les uns aux autres, cette représentation présente tout de même trois caractéristiques fondamentales des conditions réelles de transport :

- Les colis partant d'un même chargeur n'arrivent pas forcément chez le même destinataire (cas des colis jaune et bleu).
- Les colis arrivant chez un destinataire n'ont pas forcément la même provenance (colis vert et jaune) et n'ont donc pas suivi le même chemin.
- Un même colis peut être acheminé par plusieurs compagnies de transport différentes.

De manière générale, la méthode de NOSCIFEL va s'appuyer sur des unités de transport (UT), définies comme un ensemble de marchandises :

- partant d'un même endroit,
- pour atteindre une même destination,
- par les mêmes moyens de transport,
- durant la même période de temps.

Grâce aux méthodes présentées précédemment, la quantité de GES attribuée à chaque unité de transport sur chaque segment est connue. Pour connaître les émissions totales associées à une UT, il ne reste plus qu'à sommer ses émissions sur chaque segment.

Les émissions attribuées au destinataire proviennent de la somme des émissions des UT qu'il reçoit (colis vert et jaune pour le destinataire 3). De même, les émissions attribuées au chargeur proviennent de la somme des émissions des UT qu'il envoie (colis jaune et bleu pour le chargeur 1).

Les émissions du transporteur s'appuient sur les émissions produites par les camions qu'il contrôle. Elles n'ont pas nécessité d'allocation et sont, de ce point de vue, plus précises. Pour obtenir les émissions liées à un prestataire de transport, il suffit d'additionner les émissions liées aux moyens de transport qu'il utilise.

6 Présentation des résultats

Information CO2

Les résultats doivent être présentés de manière à respecter les exigences de la législation française.

Ainsi l'information CO₂ de la prestation de transport doit être donnée en masse de CO₂ absolue. L'information regroupe les émissions antérieures au service (production des carburants) et celle qui ont lieu lors de la prestation (combustion des carburants).

Norme NE 16258

La norme européenne demande que 4 informations soient transmises au sujet de la prestation:

- Les émissions de GES du puits à la roue en masse de CO₂ équivalent,
- Les émissions de GES du réservoir à la roue en masse de CO₂ équivalent,
- Les consommations d'énergie du puits à la roue en MJ,
- Les consommations d'énergie du réservoir à la roue en MJ.

Indice GES

L'indice GES est fourni en équivalent CO₂ en séparant :

- Les émissions totales liées à la prestation,
- La part liée à l'amont et à la combustion des carburants,
- Les émissions des plates-formes de stockage,
- Les émissions associées au véhicule : sa fabrication et sa maintenance,
- Les émissions liées à l'infrastructure : sa construction, son entretien et son exploitation.

Comment communiquer l'information

Selon l'arrêté du 10 avril 2012, l'information concernant les émissions de [GESCO²](#) peut être transmise par messagerie, SMS ou via un lien électronique donnant accès à la plate-forme de NOSCIFEL, sur lequel le bénéficiaire de la prestation de transport pourrait retrouver les valeurs des différents indices. L'information doit être fournie dans un délai de deux mois.

Cette démarche est compatible avec la norme NE 16258. Cependant, la mention suivante doit être communiquée :

« Ces quatre résultats ont été établis conformément à la norme EN 16258:2012. Se reporter à cette norme pour obtenir des informations complémentaires sur les processus non pris en compte, les lignes directrices et les principes généraux. Si vous souhaitez comparer ces résultats avec d'autres résultats calculés conformément à cette norme, prenez soin de passer en revue les méthodes détaillées utilisées, en particulier les méthodes d'allocation et les sources de données. »

L'envoi systématique de la déclaration des méthodes et des valeurs utilisées n'est pas obligatoire dans le cadre de la réglementation française. Il doit cependant pouvoir être effectué sur simple demande si ces informations ne sont pas librement accessibles (par un site internet, en tant que document d'information à disposition sur la plate-forme, etc.). Cependant la norme exige que la méthode soit mise à disposition du destinataire des résultats. Dans le cadre de NOSCIFEL, la solution la plus simple serait de laisser la méthodologie en libre accès au format numérique, sur un site internet ou sur la plate-forme.

L'information CO₂ doit être transmise au bénéficiaire de la prestation, c'est-à-dire dans le cas du transport de marchandise au co-contractant du prestataire. Il n'y a pas d'obligation à la transmettre au destinataire de la prestation, sauf si ce dernier est également le bénéficiaire.

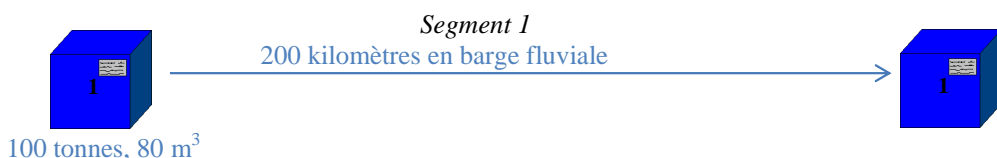
L'article 10 du décret du 10 avril 2012 prévoit la possibilité de faire attester de la conformité de la mise en œuvre du calcul des émissions de GES. Cependant, à la date de rédaction du présent rapport, l'arrêté précisant les modalités d'application de vérification n'a pas été publié.

7 Cas pratiques

L'objectif de ce chapitre est d'illustrer la méthodologie précédemment décrite par des exemples simplifiés. Dans le premier cas, une chaîne de transport globale sera modélisée afin d'étudier les calculs sur divers modes de transport (CO₂, NE 16258 et GES). Le deuxième cas présentera un exemple de transport en messagerie.

7.1 Exemple d'une chaîne de transport

7.1.1 Modélisation du cas concret



Stockage : 1 jour

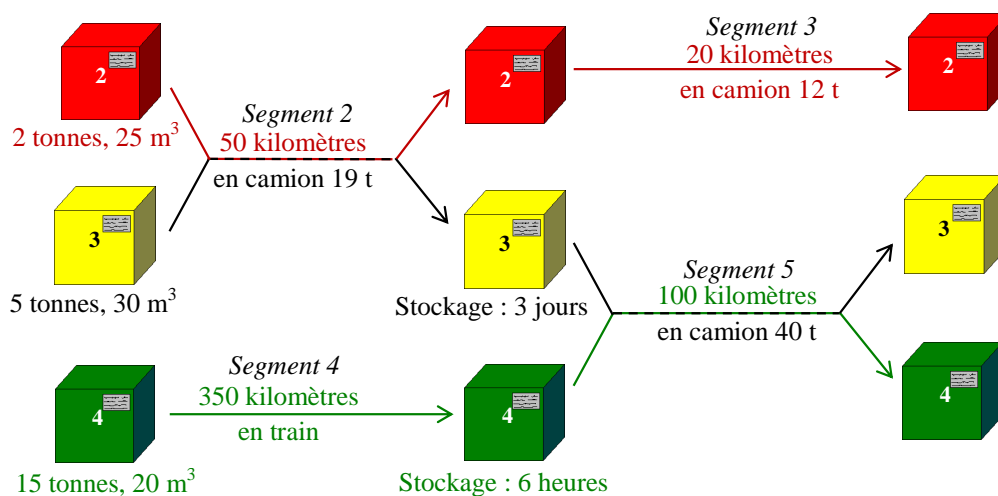


Plate-forme de stockage, 16 000m²

Figure 6 : Schéma de modélisation d'une chaîne de transport

Les unités de transport 2, 3 et 4 constituent l'intégralité du chargement sur les segments 2, 3 et 5. Cependant, d'autres marchandises sont transportées les segments 1 et 4.

Le train du segment 4 est un train électrique, chargé de marchandises moyennement denses dont le poids total est égal à 520 tonnes.

La barge fluviale du segment 1 est un automoteur de 700t de capacité, chargée de 500 tonnes de marchandises.

Le camion de 19 t de PTAC a une charge utile de 9 tonnes et un volume utile de 60 m³.
 Le camion de 12 t de PTAC a une charge utile de 5 tonnes et un volume utile de 44 m³.
 Le camion de 40 t de PTAC a une charge utile de 25 tonnes et un volume utile de 100 m³.

7.1.2 Calcul des émissions

Calcul des émissions du véhicule

Calculs des consommations de carburants

Segment	Transport	conso / km	Distance en km	Conso totale	Carburant
1	Barge fluviale	8,3 litres	200	1660 litres	Gazole non routier
2	Camion 19 t	0,27 litres	50	13,5 litres	Diesel
3	Camion 12 t	0,24 litres	20	4,8 litres	Diesel
4	Train diesel	16,74 kWh	350	5859 kWh	Electricité

5	Camion 40 t	0,338 litres	100	33,8 litres	Diesel
---	-------------	--------------	-----	-------------	--------

Tableau 17 : Estimation de la consommation des moyens de transport

Emissions liées aux carburants

Dans le tableau suivant, les facteurs d'émission de GES (FE) sont donnés pour le périmètre amont + combustion des carburants.

Segment	Conso totale	Indice CO ₂		Indice NE 16258 et indice GES	
		FE	Emission	FE	Emission
1	1660 litres	3,07	5 096 kgCO ₂	3,18	5 279 kgCO ₂ e
2	13,5 litres	3,07	41 kgCO ₂	3,18	43 kgCO ₂ e
3	4,8 litres	3,07	15 kgCO ₂	3,18	15 kgCO ₂ e
4	5859 kWh	0,053	311 kgCO ₂	0,078	457 kgCO ₂ e
5	33,8 litres	3,07	104 kgCO ₂	3,18	107 kgCO ₂ e

Tableau 18 : Emissions de GES du puits à la roue selon les différents indices

La norme demande trois autres indices sur des périmètres différents, donnés dans le tableau suivant.

Segment	Conso totale	GES du réservoir à la roue en kgCO ₂		Energie du réservoir à la roue en MJ		Energie du puits à la roue en MJ	
		FE	Emission	FE	Energie	FE	Energie
1	1660 litres	2,53	4 200	89	148 253	112	186 342
2	13,5 litres	2,53	34	89	1 206	112	1 515
3	4,8 litres	2,53	12	89	429	112	539
4	5859 kWh	0	0	0	0	0,28	1 645
5	33,8 litres	2,53	86	89	3 019	112	3 794

Tableau 19 : Autres résultats pour la norme NE 16258

Véhicule

Les émissions « véhicule » sont liées à la maintenance et à la fabrication des moyens de transport utilisés.

Segment	Véhicule	Construction		Maintenance		Emissions totales en kgCO ₂ e
		FE kgCO ₂ e /km	Emissions kgCO ₂ e	FE kgCO ₂ e/km	Emissions kgCO ₂ e	
1	Automoteur 700 t	5% du carburant	264	10% de la fabrication	26	290
2	Camion 19 t	0,090	4,5	25% de la fabrication	1	5,6
3	Camion 12 t	0,069	1,4	25% de la fabrication	0,3	1,7
4	Train	1,20	420	0,811	284	704
5	Camion 40 t	0,110	11	25% de la fabrication	3	14

Tableau 20 : Emissions de construction et de maintenance du véhicule

Infrastructures

Segment	Véhicule utilisé	Infrastructure		Emissions totales en kgCO ₂ e
		FE	Calcul	
1	Automoteur 700 t	32,5 gCO ₂ e /tkm	0,0325*500*200	3 250
2	Camion 19 t	109 gCO ₂ e /km	0,11*50	5,5
3	Camion 12 t	14 gCO ₂ e /km	0,015*20	0,3
4	Train	1400 gCO ₂ e /km	1,4*350	490
5	Camion 40 t	445 gCO ₂ e /km	0,445*100	44,5

Tableau 21 : Emissions liées aux infrastructures

Total

Segment	Indice CO ₂ (kgCO ₂)	Indice NE 16258 (kgCO ₂ e)	Indice GES (kgCO ₂ e)			Total
	Carburant	Carburant	Carburant	Véhicule	Infrastructures	
1	5 096	5 279	5 279	290	3 250	8819
2	41	43	43	5,6	5,5	54
3	15	15	15	1,7	0,3	17
4	311	457	457	704	490	1651
5	104	107	107	14	44,5	166

Tableau 22 : Indice CO₂, NE 16258 et GES pour l'exemple de la chaîne de transport*Emissions de la plate-forme*

La plate-forme fait 16.000 m². Les émissions d'immobilisation associées sont donc de 16.000*9 = 144.000 kgCO₂e = 144 tCO₂e.

Les renseignements au sujet des consommations énergétiques ou du taux de chargement ne sont pas disponibles. Le facteur d'émission moyen de 14,8 kgCO₂e /m² est utilisé. Les émissions énergétiques annuelles de la plateforme sont donc estimées à 237 tCO₂e.

Au total, la plate-forme émet annuellement 380 tCO₂e. Ces émissions doivent maintenant être réparties aux marchandises qui transitent sur le site logistique.

En moyenne, une plate-forme logistique de cette taille a un taux de remplissage de 80,8%, une capacité de stockage massique de 500 kg/m². La plate-forme étudiée a une capacité de stockage estimée à 8.000 tonnes. 8.000 * 0,808 = 6464 tonnes sont stockées en moyenne sur le site, soit une donnée d'activité annuelle de 2.359.360 tonnes.jours.

Les marchandises stockées sur la plateforme se voient affectées d'un facteur d'émission égal à 161 gCO₂e / t.jours.

Répartition des émissions aux unités de transport

Les colis parcourent la même distance que le moyen de transport qui les a pris en charge. L'allocation par donnée d'activité et par distance se rapporte donc à une allocation par donnée d'activité :

$$\frac{\text{masse ou volume de l'UT} \times \text{distance parcourue par l'Ur}}{\text{masse ou volume total transporté} \times \text{distance parcourue par le véhicule}} = \frac{\text{masse ou volume de l'Ur}}{\text{masse ou volume total transporté}}$$

Plate-forme

Colis	masse (t)	temps (jours)	Emissions (kgCO ₂ e)
2	2	1	0,32
3	5	3	2,4

4	15	1/4	0,61
---	----	-----	------

Tableau 23 : Emissions liées au stockage

Segment 1

En l'absence de données sur les volumes, les émissions sont réparties en fonction de la masse des marchandises. Le bateau transporte 500 tonnes de fret. Les émissions affectée à une unité de transport est donc égal aux émissions totales du navire, divisées par 500, et multipliées par la masse de l'unité de transport soit :

- Indice CO₂ : 10,2 kgCO_{2e} / t
- Indices NE 16258 :
 - GES du puits à la roue (PàR) : 10,6 kgCO_{2e} / t
 - GES du réservoir à la roue (RàR) : 8,4 kgCO_{2e} / t
 - Energie (PàR) : 373 MJ / t
 - Energie (RàR) : 297 MJ / t
- Indice GES : 17,6 kgCO_{2e} / t

Segment 2

Le camion de 19 t de PTAC a une charge utile de 9 tonnes et un volume utile de 60 m³, soit une masse volumique idéale de chargement de 150 kg/m³.

Il est chargé de 7 tonnes et 55 m³ de fret, soit une masse volumique de 127 kg/m³. Le volume est donc le facteur physique le plus pertinent et sera donc utilisé pour répartir les émissions aux UT 2 et 3 :

- Indice CO₂ : 0,75 kgCO_{2e} / m³
- Indices NE 16258 :
 - GES (PàR) : 0,78 kgCO_{2e} / m³
 - GES (RàR) : 0,62 kgCO_{2e} / m³
 - Energie (PàR) : 28 MJ / m³
 - Energie (RàR) : 22 MJ / m³
- Indice GES : 0,98 kgCO_{2e} / m³

Segment 3

L'unité de transport 2 est la seule concernée par ce segment. Toutes les émissions lui sont affectées.

Segment 4

En l'absence de données sur les volumes, les émissions sont réparties en fonction de la masse des marchandises. Le train transporte 520 tonnes de fret. Les émissions affectée à une unité de transport est donc égal aux émissions totales du train, divisées par 520, et multipliées par la masse de l'unité de transport :

- Indice CO₂ : 0,60 kgCO_{2e} / t
- Indices NE 16258 :
 - GES (PàR) : 0,88 kgCO_{2e} / t
 - GES (RàR) : 0 kgCO_{2e} / t
 - Energie (PàR) : 3,2 MJ / t

- Energie (RàR) : 0 MJ / t
- Indice GES : 3,17 kgCO₂e / t

Segment 5

Le camion de 40 t de PTAC a une charge utile de 25 tonnes et un volume utile de 100 m³, soit une masse volumique idéale de chargement de 250 kg / m³.

Il est chargé de 20 tonnes et 50 m³ de fret, soit une masse volumique de 400 kg/m³. La masse est donc le facteur physique le plus pertinent et sera donc utilisée pour répartir les émissions aux UT 3 et 4 :

- Indice CO₂ : 5,2 kgCO₂e / t
- Indices NE 16258 :
 - GES (PàR) : 5,4 kgCO₂e / t
 - GES (RàR) : 4,3 kgCO₂e / t
 - Energie (PàR) : 190 MJ / t
 - Energie (RàR) : 151 MJ / t
- Indice GES : 8,3 kgCO₂e / t

7.1.3 Résultats : Emissions des unités de transport par indice

Indice CO₂ en kgCO₂

UT	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5	Total
1	1 019	-	-	-	-	1 019
2	-	19	15	-	-	34
3	-	23	-	-	26	49
4	-	-	-	9	78	87

Tableau 24 : Exemple de la chaîne de transport - Indice CO₂

Indices NE 16258

GES (amont + utilisation) en kgCO₂e

UT	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5	Total
1	1 056	-	-	-	-	1 056
2	-	20	15	-	-	35
3	-	23	-	-	27	50
4	-	-	-	13	81	94

Tableau 25 : Exemple de la chaîne de transport - Indice NE 16258 GES amont + utilisation

De même, on obtient de la même manière les résultats suivants pour les autres indicateurs demandés par la norme européenne :

UT	GES en kgCO ₂ e (utilisation)	Energie en MJ (amont + utilisation)	GES en kgCO ₂ e (utilisation)
1	840	37 268	29 651
2	28	1 228	977
3	40	1 775	1 412
4	64	2 893	2 264

Tableau 26 : Exemple de la chaîne de transport - Autres résultats demandés par la norme NE 16258

Indice GES en kgCO₂e

Colis	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5	Plate - forme	Total
1	1 764	-	-	-	-	-	1 764
2	-	25	17	-	-	0,36	42
3	-	29	-	-	41	2,70	73
4	-	-	-	48	124	0,68	173

Tableau 27 : Exemple de la chaîne de transport - Indice GES

Pour donner plus d'information sur le contenu de ce total, on peut répartir les émissions par poste. Prenons par exemple la part du carburant dans les émissions du colis 2.

L'UT 2 est transporté sur les segments 2 et 3. Sur le segment 2, la part du carburant est de $43/54 = 79\%$. Sur le segment 3, elle est de $15/17 = 88\%$. On obtient une part du carburant égale à $(79\% * 25 + 88\% * 17) = 35$ kgCO₂e, soit 82% des émissions de l'unité de transport.

En répartissant les émissions de l'indice GES par poste, on obtient :

UT	Carburant		Stockage		Véhicule		Infrastructure		Total
1	1 056	60%	0	0%	58	3%	650	37%	1 764
2	35	83%	0,3	1%	4	10%	3	7%	42
3	50	69%	2,4	3%	7	9%	14	19%	74
4	94	54%	0,6	0%	31	18%	48	28%	173

Tableau 28 : Exemple de la chaîne de transport - répartition des émissions de l'indice GES par poste

Exemple de rendu par NOSCIFEL

Pour le rendu des résultats, les détails de calculs n'ont pas à être fournis. Seul les valeurs des indices et la répartition par poste sont renvoyées par la plate-forme.






Par exemple, les résultats renvoyés pour l'UT 2 sont :

- Indice CO₂ : 34 kgCO₂
- Indices NE 16258 :
 - GES Amont + Utilisation : 35 kgCO₂e
 - GES Utilisation : 28 kgCO₂e
 - Energie Amont + Utilisation : 1228 MJ
 - Energie Utilisation : 977 MJ
- Indice GES : 42 kgCO₂e
 - 83 % lié au carburant
 - 1% lié au stockage
 - 10% lié au véhicule
 - 7% lié aux infrastructures

7.2 Exemple d'une prestation de messagerie

La messagerie est un cas concret particulier. En effet, les marchandises ne parcourent pas le même trajet que le véhicule. Il n'est pas possible de simplifier la distance dans les calculs d'allocation des émissions.

7.2.1 Modélisation du cas concret

UT	Masse	Volume	Point de départ	Point d'arrivée
 UT 1	500 kilos	10 m ³	Entrepôt	Point 1
 UT 2	200 kilos	3 m ³	Entrepôt	Point 2
 UT 3	350 kilos	4 m ³	Point 2	Entrepôt
 UT 4	400 kilos	6 m ³	Entrepôt	Point 3
 UT 5	150 kilos	2 m ³	Entrepôt	Point 4

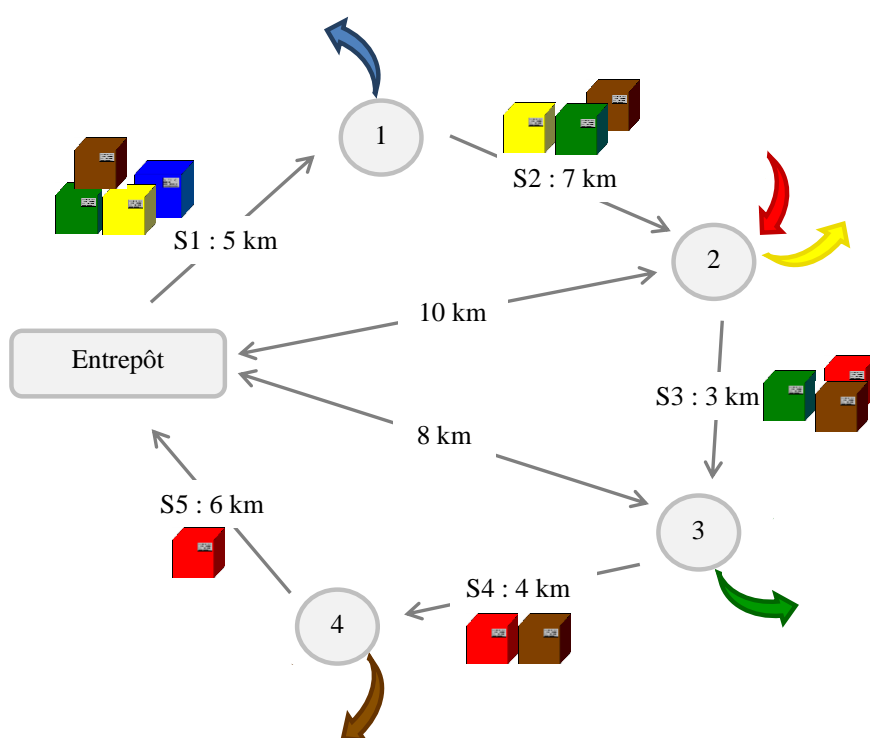


Figure 7 : Schéma de la tournée de messagerie modélisée

On utilise un camion de 7,5 tonnes de PTAC, de 2,5 tonnes de charge utile et de 30 m³ de volume utile. Il consomme 22 litres au 100 kilomètre en moyenne.

7.2.2 Emissions du véhicule

Le véhicule a parcouru 25 kilomètres. Il a donc consommé 5,5 litres de diesel. On obtient les émissions suivantes :

- Indice CO₂ : 16,9 kgCO₂,
- Indices NE 16258 :
 - GES du puits à la roue (PàR) : 17,5 kgCO_{2e},
 - GES du réservoir à la roue (RàR) : 13,9 kgCO_{2e},
 - Energie PàR : 617 MJ,
 - Energie RàR : 491 MJ,
- Indice GES : 20 kgCO_{2e}
 - 88% de carburant (17,5 kgCO_{2e}),
 - 10% pour le véhicule (2 kgCO_{2e} dont 1,6 kgCO_{2e} de fabrication et 0,4 kgCO_{2e} de maintenance),
 - 2% pour les infrastructures (0,35 kgCO_{2e}).

7.2.3 Répartition aux UT

L'allocation des émissions aux marchandises se fait en fonction de la distance et soit de la masse, soit du volume.

La distance utilisée n'est pas la distance parcourue par le véhicule ni la distance parcourue par les marchandises. C'est la plus courte distance entre le point de chargement et celui de déchargement (cf. Chapitre allocation des émissions du transport).

Segment	Distance (km)	Masse (kg)	Volume (m ³)	Masse volumique (kg/m ³)
1	5	1250	21	60
2	7	750	11	68
3	3	900	12	75
4	4	500	6	83
5	6	350	4	87,5

Tableau 29 : Exemple de la tournée de messagerie - masse volumique transportée sur les segments

La masse volumique idéale de chargement du camion est de 83 kg / m³. Etant donné que la distance réelle parcourue par les marchandises n'est pas utilisée, la masse volumique des marchandises sur les segments ne constitue pas un indicateur pertinent. De plus, il ne serait ni cohérent, ni pratique qu'une UT présente sur différents segments voit sa règle d'allocation changer plusieurs fois au cours de la tournée. La moyenne de la masse volumique pondérée par la distance des segments va être utilisée pour définir la donnée d'activité que l'on va utiliser pour répartir les émissions :

$$\frac{5 * 60 + 7 * 68 + 3 * 75 + 4 * 83 + 6 * 87,5}{25} = 74 \text{ kg/m}^3 < \text{masse}$$

volumique idéale du camion

Le volume est donc en moyenne le facteur le plus pertinent pour mesurer les données d'activité de la tournée de messagerie étudiée. Les émissions de CO₂ sont donc réparties selon les m³.km.

UT	Distance (km)	Volume (m ³)	m ³ .km	%
1	5	21	105	26%
2	10	11	110	27%
3	10	12	120	29%
4	8	6	48	12%
5	6	4	24	6%
Total			407	100%

Tableau 30 : Exemple de la tournée de messagerie - Pourcentage de responsabilité sur les émissions de la prestation

7.2.4 Résultats

UT	Indice CO ₂ (kgCO ₂)	Indice NE 16258 GES PàR (kgCO ₂ e)	Indice NE 16258 GES RàR (kgCO ₂ e)	Indice NE 16258 Energie PàR (MJ)	Indice NE 16258 Energie RàR (MJ)	Indice GES (kgCO ₂ e)
1	4,4	4,5	3,6	159	127	5,1
2	4,6	4,7	3,8	167	133	5,4
3	5,0	5,2	4,1	182	145	5,9
4	2,0	2,1	1,6	73	58	2,3
5	1,0	1,0	0,8	36	29	1,2
Prestation	16,9	17,5	13,9	617	491	20

Tableau 31 : Exemple de la tournée de messagerie - Présentation des résultats selon les différents indices

La répartition des émissions par poste pour l'indice GES est similaire à celle du véhicule :

- 88% pour le carburant,
- 10% pour la maintenance et la fabrication du véhicule,
- 2% pour les infrastructures.

8 Bibliographie

- [1] J. Patterson; M. Alexander ; A. Gurr, «Preparing for a Life Cycle CO2 Measure,» Ricardo, 2011.
- [2] Renault, «FLUENCE and FLUENCE Z.E. - Life Cycle Assessment,» 2011.
- [3] M. Spielmann; R. W. Scholz, «Lyfe Cycle Inventories of Transport Services,» Swiss Federal Intiture of Technology, Zurich, Switzerland, 2004.
- [4] GSE, Bilan Carbone d'une plate-forme logistique de 42 000 m², 2006.

- [5] Observatoire de l'immobilier durable, Baromètre 2012 de la performance énergétique et environnementale des bâtiments tertiaires, 2012.
- [6] Commissariat Général au Développement Durable, Etudes et document n°51, Septembre 2012.
- [7] SETRA, Les bâtiments logistiques - Fonctions et impacts sur les territoires, Bagnex, 2009.
- [8] Groupe Tollens, «Production et logistique,» [En ligne]. Available: <http://www.groupe-tollens.com/le-groupe/production-et-logistique/>. [Accès le 5 novembre 2013].
- [9] EcoInvent, «Transport services - Data v2.0,» 2007.
- [10] ADEME, 14 janvier 2013. [En ligne]. Available: <http://www.basecarbone.fr>. [Accès le 30 mai 2013].
- [11] London Borough of Camden, «Life Cycle Assessment of Vehicles Fuels and Technologies,» London, 2006.
- [12] L. Gaines, F. Stodolsky, R. Cuenca et J. Eberhardt, «Life-Cycle Analysis for Heavy Vehicles,» chez *Air & Waste Management Association Annual Meeting*, San Diego, California, 1998.
- [13] ADEME, RFF et SNCF, «Premier Bilan Carbone ferroviaire global,» 2009.
- [14] SNCF, «Le matériel de la SNCF : un atout décisif,» *Perspective fret*, n° % 124, 2013.
- [15] D. Redoutey, Le matériel moteur de la SNCF, La Vie du Rail, 2007.
- [16] SNCF, «Nos services et offres commerciales - Offre wagons par catégorie,» 15 mai 2013. [En ligne]. Available: http://fret.sncf.com/fret/nos_services_et_offres_commerciales/nos_services_logistiques/notre_catalogue_de_wagons/67-offre_wagons_par_categorie.html. [Accès le 05 juin 2013].
- [17] SNCF, «Nos services logistiques : opérateurs de vos synergies !,» 15 mai 2013. [En ligne]. Available: http://fret.sncf.com/fret/534-nos_services_logistiques.html. [Accès le 6 juin 2013].
- [18] SOeS, «Le transport ferroviaire de marchandise en 2011,» *Chiffres et statistiques*, n° % 1337, p. 1, 2012.
- [19] F. GRIGNON, «Rapport d'information de M. Francis GRIGNON, fait au nom de la commission de l'économie, du développement durable et de l'aménagement du territoire n° 55,» 2010.
- [20] Federal Aviation Administration, Federal Register_Aging Airplane Program : widespread Fatigue Damage, Washington, 2010.
- [21] Boeing Company, CDP 2011 Investor CDP 2011 Information Request, 2011.
- [22] Boeing Company, «Orders and Deliveries - Historical deliveries,» mai 2013. [En ligne]. Available: <http://active.boeing.com/commercial/orders/index.cfm?content=displaystandardreport.c>

- fm&pageid=m25065&RequestTimeout=20000. [Accès le 24 juin 2013].
- [23] M. ALLIE & Al, «Les Alliages et Matériaux Composites utilisés dans l'aéronautique,» Polytech' Paris Sud, 2005. [En ligne]. Available: <http://aeronautiques2.free.fr/>. [Accès le 13 06 2013].
- [24] Y. DEREMAUX, Enjeux et impératifs de la conception dans l'aéronautique civile, Dassault Aviation, mars 2011.
- [25] WordPress.com, «L'avion est-il plus dangereux que la voiture ?,» Holistique, 14 aout 2008. [En ligne]. Available: <http://holistique.wordpress.com/tag/avion-crash-voiture-probabilite/>. [Accès le 25 juin 2013].
- [26] Fédération Nationale de l'Aviation Marchande, Guide - Calcul du bilan des émissions de GES pour les métiers de l'aérien, Paris, janvier 2013.
- [27] DGAC, «Enquête dégivrage/déverglaçage - Eau et aéroports : prise en compte des opérations de viabilité hivernale dans la gestion aéroportuaire - rapport statistique 2003-2006,» Toulouse, mars 2007.
- [28] Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Repère Edition 2013 - Chiffres clés du transport, 2013.
- [29] Colas, La route écologique du futur - Analyse du cycle de vie, 2003.
- [30] Ministère de l'équipement des transports et du logement - Direction des routes, «Tous les tunnels routiers (par longueur),» 2008. [En ligne]. Available: http://lestunnels.free.fr/tunnels_tous_long_jcadres.htm. [Accès le 4 juillet 2013].
- [31] Wikipédia, «Liste des ponts les plus longs de France,» 17 mai 2013. [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_ponts_les_plus_long_de_France. [Accès le 5 juillet 2013].
- [32] R. HIRSHHORN, The estimation of road wear and capital costs, mars 2002.
- [33] Comité des Constructeurs Français d'automobiles, L'industrie automobile française - analyse et statistiques 2012, Paris, 2012.
- [34] Comité des Constructeurs Français d'Automobiles, «Faits et Chiffres : Usage de l'automobile,» juillet 2011. [En ligne]. Available: <http://www.cdfa.fr/Usage-de-l-automobile>. [Accès le 24 juillet 2013].
- [35] Lignes de vie, «La filière camion en France,» 2011. [En ligne]. Available: http://www.lignesdevi.fr/economie/economie-filiere_camion_france-le_parc_roulant.html. [Accès le 24 juillet 2013].
- [36] ADEME, «Guide des facteurs d'émissions v6.1,» juin 2010.
- [37] RFF, «Repère 2011 - Chiffres clés,» Stralis, Paris, 2011.
- [38] C. Gouel, N. Kousnetzoff et H. Salman, «Commerce international et transports : tendances du passé et prospective 2020,» CEPII, 2008.
- [39] AJI-Europe; MLTC; CITEPA; EFEC Consultants, «Etude énergétique et environnementale du passage portuaire,» 2010.

- [40] SOeS, «Indice de production des services de transport - année 2012,» 09 janvier 2013. [En ligne]. Available: <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/r/indice-production-services-transport.html>. [Accès le 06 mars 2013].
- [41] Eurostat, «Transport aériens de passagers dans l'Union Européenne en 2011,» 20 novembre 2012. [En ligne]. Available: http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=98&ref_id=CMPTEF13646. [Accès le 13 mars 2013].
- [42] AFNOR, NF EN 16258 - Méthodologie pour le calcul et la déclaration de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (GES) des prestations de transport (fret et passagers), La Plaine Saint-Denis, France, 2012.
- [43] ADEME, Information CO2 des prestations de transport - Application de l'article L1431-3 du code des transports - Guide méthodologique, La Défense, 2012.
- [44] DGAC et CITEPA, «Décret du 24/10/2011,» octobre 2007. [En ligne]. Available: <http://eco-calculateur.aviation-civile.gouv.fr/eco-calculateur/decret.php>. [Accès le 29 mai 2013].

9 ANNEXES

9.1 Annexe 1 : Valeurs **par défaut** provenant de l'arrêté du 10 avril 2012

Valeur par défaut des consommations kilométriques du train

Carburant et caractéristiques du transport	Consommation kilométrique
Train électrique, densité des marchandises $\leq 249 \text{ kg/m}^3$	16,6 kWh/km
Train diesel, densité des marchandises $\leq 249 \text{ kg/m}^3$	3,85 kg de gazole non routier /km
Train mixte, densité des marchandises $\leq 249 \text{ kg/m}^3$	(14,94 kWh électrique + 0,38 kg de gazole non routier) /km
Train électrique, densité des marchandises entre 250 kg/m^3 et 399 kg/m^3	16,74 kWh/km
Train diesel, densité des marchandises entre 250 kg/m^3 et 399 kg/m^3	3,88 kg de gazole non routier /km
Train mixte, densité des marchandises entre 250 kg/m^3 et 399 kg/m^3	(15,07 kWh électrique + 0,39 kg de gazole non routier) /km
Train électrique, densité des marchandises $\geq 400 \text{ kg/m}^3$	16,68 kWh/km
Train diesel, densité des marchandises $\geq 400 \text{ kg/m}^3$	3,86 kg de gazole non routier /km
Train mixte, densité des marchandises $\geq 400 \text{ kg/m}^3$	(15,01 kWh électrique + 0,39 kg de gazole non routier) /km

Tableau 32 : Valeurs par défaut des consommations kilométriques des transports en train ^[43]

Valeur par défaut des consommations kilométriques du transport fluvial

Carburant et caractéristiques du transport	Consommation kilométrique
Automoteur de capacité < 400 tonnes	6,3 litres/km de gazole non routier
Automoteur de capacité entre 400 et 649 tonnes	7,3 litres/km de gazole non routier
Automoteur de capacité entre 650 et 999 tonnes	8,3 litres/km de gazole non routier
Automoteur de capacité entre 1000 et 1499 tonnes	12,2 litres/km de gazole non routier
Automoteur de capacité ≥ 1500 tonnes	19,9 litres/km de gazole non routier
Pousseur avec barge(s) de capacité ≤ 590 kW	9,4 litres/km de gazole non routier
Pousseur avec barge(s) de capacité comprise entre 590 et 879 kW	14,4 litres/km de gazole non routier
Pousseur avec barge(s) de capacité ≥ 880 kW	28,4 litres/km de gazole non routier

Tableau 33 : Valeurs par défaut des consommations kilométriques des transports fluviaux ^[43]

Valeurs *par défaut* des consommations kilométriques des transports maritimes

Modèle de bateau	Consommation kilométrique
Vraquier Handysize < 40 250 tonnes de port en lourd	39,2 kg/km de fioul lourd
Vraquier Handymax de 40 250 à 63 499 tonnes de port en lourd	39,7 kg/km de fioul lourd
Vraquier Panamax de 63 500 à 127 500 tonnes de port en lourd	49,4 kg/km de fioul lourd
Vraquier Capesize > 127 500 tonnes de port en lourd	79,8 kg/km de fioul lourd
Pétrolier Petit product tanker < 26 500 tonnes de port en lourd	55 kg/km de fioul lourd + 0,5 kg/km de diesel maritime
Pétrolier Handy product de 26 500 à 68 499 tonnes de port en lourd	76 kg/km de fioul lourd + 3,4 kg/km de diesel maritime
Pétrolier Aframax de 68 500 à 200 000 tonnes de port en lourd	72,5 kg/km de fioul lourd
Pétrolier VLCC > 200 000 tonnes de port en lourd	133 kg/km de fioul lourd
Gazier petit GPL	25,9 kg/km de fioul lourd + 1,5 kg/km de diesel maritime
Gazier VLGC	90 kg/km de fioul lourd
Petit vraquier/navire fluvio-maritime	12,8 kg/km de diesel maritime
Porte-conteneurs < 1 200 EVP	32,3 kg/km de fioul lourd + 0,8 kg/km de diesel maritime
Porte-conteneurs de 1 200 à 1 899 EVP	66,3 kg/km de fioul lourd
Porte-conteneurs de 1 900 à 3 849 EVP	103,7 kg/km de fioul lourd
Porte-conteneurs de 3 850 à 7 499 EVP	174 kg/km de fioul lourd
Porte-conteneurs > 7 500 EVP	210,5 kg/km de fioul lourd
Ferry de nuit	18,45 kg/km de fioul lourd + 12,04 kg/km de diesel maritime
Ferry de jour	33,51 kg/km de fioul lourd + 4,28 kg/km de diesel maritime
Ro-Pax	32,2 kg/km de fioul lourd
Ro-Ro	54,3 kg/km de fioul lourd + 1,4 kg/km de diesel maritime

Tableau 34 : Valeurs par défaut des consommations kilométriques des transports maritimes
[43]

Valeurs *par défaut* des consommations kilométriques des transports routiers

Véhicule	Consommation kilométrique
Véhicule utilitaire léger (VUL) de 3,5 tonnes de PTAC Express (plis, courses)	0,16 litres/km de gazole routier
VUL de 3,5 tonnes de PTAC Express (colis)	0,16 litres/km de gazole routier
Porteur de 19 tonnes de PTAC - Express	0,27 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Messagerie	0,342 litres/km de gazole routier
Porteur de 19 tonnes de PTAC Messagerie	0,270 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Messagerie (frigorifique)	0,342 litres/km de gazole routier + 0,07 litres/km de gazole non routier
Porteur de 19 tonnes de PTAC Messagerie (frigorifique) Gazole routier/Gazole non routier	0,270 litres/km de gazole routier + 0,055 litres/km de gazole non routier
Porteur de 7,5 tonnes de PTAC Marchandises diverses	0,22 litres/km de gazole routier
Porteur de 12 tonnes de PTAC Marchandises diverses	0,24 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 26 tonnes de PTRA Grand volume	0,305 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 35 tonnes de PTRA Porte-voitures	0,370 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Marchandises diverses/longue distance	0,342 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Marchandises diverses/régional	0,338 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Grand volume	0,379 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Avec groupe froid	0,332 litres/km de gazole routier + 0,07 litres/km de gazole non routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Benne TP	0,427 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Benne céréalière	0,405 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Porte-conteneur	0,373 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé de 40 tonnes de PTRA Citerne	0,353 litres/km de gazole routier
Fourgon de 8 mètres cube Déménagement	0,160 litres/km de gazole routier
Porteur de 45 mètres cube Déménagement	0,270 litres/km de gazole routier
Ensemble articulé 90 mètres cube Déménagement	0,342 litres/km de gazole routier

Tableau 35 : Valeurs par défaut des consommations kilométriques des transports routiers ^[43]

Valeurs *par défaut* des consommations kilométriques des transports aériens

Si le transport est réalisé par un avion-cargo, les consommations suivantes peuvent être utilisées :

Consommation en litres de kérosène au 100 km/t	MMD < 100 tonnes	MMD de 100 à 250 tonnes	MMD > 250 tonnes
< 1000 km	105,7	71,9	-
1000 à 4000 km	89,9	57,5	-
4000 à 7000 km	-	-	22,4
> 7000 km	-	-	22,3

Tableau 36 : Valeurs moyennes de consommation pour un avion-cargo en fonction de la Masse Maximale au Décollage (MMD) ^[44]

Si le transport est réalisé par un avion mixte, transportant des marchandises et des voyageurs, les valeurs suivantes peuvent être utilisées.

Distance parcourue	< 50 sièges	50 à 100 sièges	100 à 180 sièges	180 à 250 sièges	> 250 sièges
1 à 1000 km	2,19 l/km 18 passagers	5,43 l/km 66 passagers	7,88 l/km 141 passagers	10,14 l/km 193 passagers	-
1001 à 2000 km	2,43 l/km 15 passagers	4,23 l/km 76 passagers	6,85 l/km 147 passagers	7,41 l/km 192 passagers	-
2001 à 3000 km	1,88 l/km 9 passagers	2,84 l/km 76 passagers	6,36 l/km 150 passagers	7,27 l/km 196 passagers	-
3001 à 4000 km	-	-	6,28 l/km 154 passagers	8,15 l/km 196 passagers	12,67 l/km 285 passagers
4001 à 5000 km	-	-	7,22 l/km 137 passagers	12,08 l/km 220 passagers	14,05 l/km 307 passagers
5001 à 6000 km	-	-	8,89 l/km 172 passagers	9,31 l/km 225 passagers	14,65 l/km 361 passagers
6001 à 7000 km	-	-	-	8,96 l/km 222 passagers	13,95 l/km 373 passagers
7001 à 8000 km	-	-	-	8,00 l/km 223 passagers	14,04 l/km 373 passagers
8001 à 9000 km	-	-	-	9,41 l/km 232 passagers	14,52 l/km 347 passagers
9001 à 10000 km	-	-	-	9,21 l/km 235 passagers	14,13 l/km 354 passagers
10001 à 11000 km	-	-	-	-	13,42 l/km 350 passagers
> 11 000	-	-	-	-	11,48 l/km 287 passagers

Tableau 37 : consommations moyennes et nombre de passagers moyens sur les avions de transport mixte ^[44]

Ces données sont basées sur les chiffres de 2007 et possèdent une incertitude de 10%.

9.2 Annexe 2 : Facteurs d'émissions pour l'indice d'information CO₂

NATURE de la source d'énergie	TYPE DÉTAILLÉ de la source d'énergie	UNITÉ DE MESURE de la quantité de source d'énergie	FACTEUR D'ÉMISSION (gCO ₂ e par unité de mesure)			Sources
			Phase amont	Phase de fonctionnement	Total	
Electricité	France métropolitaine (hors Corse)	Kilowattheure	53	0	53	[43]
	Corse	Kilowattheure	583	0	583	[43]
	Guadeloupe	Kilowattheure	688	0	688	[43]
	Guyane	Kilowattheure	350	0	350	[43]
	Martinique	Kilowattheure	825	0	825	[43]
	Mayotte	Kilowattheure	765	0	765	[43]
	La Réunion	Kilowattheure	764	0	764	[43]
	Europe (hors France)	Kilowattheure	420	0	420	[43]
Carburant aéronautique	Carburéacteur large coupe (jet B)	Litre	488	2480	2968	[43]
	Essence aviation (AvGas)	Litre	488	2480	2968	[43]
	Kérosène (Jet A1 ou Jet A)	Litre	480	2520	3000	[43]
Essence automobile	Essence pure	Litre	470	2430	2900	Base Carbone
	Bioéthanol pur	Litre	940	0	940	Base Carbone
	Essence à la pompe (SP 95-SP 98)	Litre	470	2240	2710	[43]
	E 10	Litre	490	2180	2670	[43]
	E 85	Litre	870	360	1230	[43]
Fioul	Light fuel oil ISO 8217 Classes RMA à RMD	Kilogramme	610	3150	3760	[43]
	Heavy fuel oil ISO 8217 Classes RME à RMK	Kilogramme	460	3120	3580	[43]
Gazole	Diesel pur	Litre	560	2660	3220	Base Carbone
	Biodiesel Pur	Litre	1440	0	1440	Base Carbone
	Gazole routier à la pompe	Litre	580	2490	3070	[43]

	Gazole non routier à la pompe	Litre	580	2490	3070	[43]
		Kilogramme	680	2950	3630	[43]
	B 30	Litre	790	1860	2650	[43]
	Marine diesel oil ISO 8217 Classes DMX à DMB	Kilogramme	610	3150	3760	[43]
Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	GPL pour véhicule routier	Litre	190	1580	1770	[43]
	Butane maritime	Kilogramme	350	2920	3270	[43]
	Propane maritime	Kilogramme	350	2940	3290	[43]
Gaz naturel	Gaz naturel comprimé pour véhicule routier (GNV)	Litre	320	1810	2130	[43]
	Gaz naturel liquéfié maritime (GNL)	Kilogramme	520	2770	3290	[43]

Tableau 38 : Facteur d'émissions pour l'indice d'information CO₂^[43]

9.3 Annexe 3 : Facteurs d'émission pour l'indice EN 16258

NATURE de la source d'énergie	TYPE DÉTAILLÉ	UNITÉ DE MESURE	FACTEUR D'ÉMISSION (gCO ₂ e/unité de mesure)			Incertitude (%)	Sources
			Phase amont	Phase de fonctionnement	Total		
Electricité	France métropolitaine (hors Corse)	kWh	78	0	78	10	Base Carbone
	Corse	kWh	595	0	595	10	Base Carbone
	Guadeloupe	kWh	702	0	702	10	Base Carbone
	Guyane	kWh	360	0	360	10	Base Carbone
	Martinique	kWh	841	0	841	10	Base Carbone
	Mayotte	kWh	780	0	780	10	Base Carbone
	La Réunion	kWh	780	0	780	10	Base Carbone
	Europe (hors France)	kWh	420	0	420	10	Base Carbone
Carburant aéronautique	Carburéacteur large coupe (jet B)	Litre	524	2517	3040	5	Base Carbone
	Essence aviation (AvGas)	Litre	524	2521	3045	5	Base Carbone
	Kérosène (Jet A1 ou Jet A)	Litre	524	2521	3045	5	Base Carbone
Essence automobile	Essence pure	Litre	470	2460	2930	5	Base Carbone
	Bioéthanol pur	Litre	1210	0	1210	5	Base Carbone
	Essence à la pompe (SP 95-SP 98)	Litre	530	2270	2800	5	Base Carbone
	E 10	Litre	550	2210	2760	5	Base Carbone
	E 85	Litre	1100	370	1470	5	Base Carbone
Fioul	Light fuel oil ISO 8217 Classes RMA à RMD	Kilogramme	450	3390	3840	5	Base Carbone
	Heavy fuel oil ISO 8217 Classes RME à RMK	Kilogramme	450	3190	3640	5	Base Carbone
Gazole	Diesel pur	Litre	560	2700	3260	5	Base Carbone

	Biodiesel Pur	Litre	1980	0	1980	5	Base Carbone
	Gazole routier à la pompe	Litre	650	2530	3180	5	Base Carbone
	Gazole non routier à la pompe	Litre	650	2530	3180	5	Base Carbone
		Kilogramme	767	2985	3752	5	Base Carbone
	B 30	Litre	990	1890	2880	5	Base Carbone
	Marine diesel oil ISO 8217 Classes DMX à DMB	Kilogramme	620	3220	3840	5	Base Carbone
Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	GPL pour véhicule routier	Litre	200	1640	1840	5	Base Carbone
	Butane maritime	Kilogramme	249	1589	1838	5	Base Carbone
	Propane maritime	Kilogramme	249	1602	1851	5	Base Carbone
Gaz naturel	Gaz naturel comprimé pour véhicule routier (GNV)	Litre	400	1860	2260	5	Base Carbone
	Gaz naturel liquéfié maritime (GNL)	Kilogramme	673	2811	3484	5	Base Carbone

Tableau 39 : Facteur d'émissions pour le calcul selon la norme NE 16258 ^[10]

Les données précédentes ont été calculées pour un périmètre français ou européen. Si la prestation a lieu dans un pays étranger, leur utilisation peut être source d'erreur. Il est donc préférable de les réactualiser si possible.

9.4 Annexe 4 : Facteurs d'utilisation d'énergie pour l'indice EN 16258

NATURE de la source d'énergie	TYPE DÉTAILLÉ	Unité de mesure	Facteur de conversion	
Electricité	Electricité	kWh	3,6	MJ/kWh
Carburant aéronautique	Carburéacteur large coupe (jet B)	Litre	35,25	MJ/litre
	Essence aviation (AvGas)	Litre	35,25	MJ/litre
	Kérosène (Jet A1 ou Jet A)	Litre	35,25	MJ/litre
Essence automobile	Essence pure	Litre	33,25	MJ/litre
	Bioéthanol pur	Litre	21,1	MJ/litre
	Essence à la pompe (SP 95-SP 98)	Litre	32,3	MJ/litre
	E 10	Litre	32,0	MJ/litre
	E 85	Litre	22,9	MJ/litre
Fioul	Light fuel oil ISO 8217 Classes RMA à RMD	Kilogramme	40	MJ/kg
	Heavy fuel oil ISO 8217 Classes RME à RMK	Kilogramme	40	MJ/kg
Gazole	Diesel pur	Litre	35,5	MJ/litre
	Biodiesel Pur	Litre	33,1	MJ/litre
	Gazole routier à la pompe	Litre	35,3	MJ/litre
		Kilogramme	41,7	MJ/kg
	Gazole non routier à la pompe	Litre	35,3	MJ/litre
		Kilogramme	41,7	MJ/kg
B 30	Litre	34,8	MJ/litre	
Gazole	Marine diesel oil ISO 8217 Classes DMX à DMB	Kilogramme	40	MJ/kg
Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	GPL pour véhicule routier	Litre	24,75	MJ/litre
	Butane maritime	Kilogramme	45,5	MJ/kg
	Propane maritime	Kilogramme	46	MJ/kg
Gaz naturel	Gaz naturel comprimé pour véhicule routier (GNV)	Litre	33	MJ/litre
	Gaz naturel liquéfié maritime (GNL)	Kilogramme	49,7	MJ/kg

Tableau 40 : Facteur de conversion énergétique pour le calcul selon la norme EN 16258