



Outil de quantification et de monétarisation des externalités liées au transport de marchandises

Guide d'utilisation et note relative aux données

Novembre 2024



ICEDD

Pour le compte de :



Wallonie
service public
SPW

Titre du document

Outil de quantification et de monétarisation des externalités liées au transport de marchandises - Guide d'utilisation et note relative aux données

Auteurs

Oriane BRACONNIER oriane.braconnier@icedd.be

François VANDERLINDEN francois.vanderlinden@icedd.be

Adresses de contact au SPW

transportmarchandises.mobilite@spw.wallonie.be

Pierre ARNOLD pierre.arnold@spw.wallonie.be



Table des matières

1. Utiliser les calculateurs.....	3
1.1. Note à l'utilisateur.....	3
1.2. Calculateur trajet.....	3
A. Comprendre l'interface.....	3
A.1. Les lignes de l'interface utilisateur dans l'onglet calculateur - trajet	3
A.2. Les colonnes de l'interface utilisateur dans l'onglet calculateur - trajet.....	8
B. Comprendre les résultats.....	10
B.1. Résultats - Emissions.....	10
B.2. Résultats - Coûts des externalités.....	13
1.3. Calculateur consommation.....	14
A. Comprendre l'interface.....	14
A.1. Les lignes.....	14
A.2. Les colonnes.....	16
B. Comprendre les résultats.....	18
2. Structure et construction du calculateur.....	20
2.1. Sources.....	20
2.2. Régression linéaire du fluvial.....	21
2.3. Matrices de données.....	22
A. Emissions Transports.....	22
B. Emissions de Carburants.....	22
C. Facteurs Carburant.....	22
D. Emissions Transbordement.....	22
E. Données coûts.....	22
2.4. Hypothèses.....	23

Eco-Calculateur



Braconnier Oriane oriane.braconnier@icedd.be
François Vander Linden francois.vanderlinden@icedd.be



Outil de quantification et de monétarisation des externalités liées au transport de marchandises

Le fichier Excel est composé de différentes feuilles de calcul :

Listing des feuilles de calcul

2 calculateurs – Trajets et Consommation
5 feuilles de données d'émissions
1 feuille de données de coûts
1 feuille outil de la gestion des choix des calculateurs

1. Utiliser les calculateurs

1.1. Note à l'utilisateur

Les calculateurs ne sont pas faits pour juger de l'efficacité d'un type de transport ni pour comparer les types de transports entre eux, mais uniquement pour calculer les émissions des GES et le coût des externalités liées au transport de marchandises.

1.2. Calculateur trajet

A. Comprendre l'interface

L'interface utilisateur du calculateur trajet se présente comme ceci :

	Interface utilisateur					
Intermodalité	1	2	3	4	T	Scénario full routier
Mode de transport	Routier	Fluvial	Routier	Routier		Routier
Voie de Transport	Autoroute	Voie navigable Vlb	Autoroute	Autoroute	Nombre de transbordements	Autoroute
Type de chargement	Vrac	Vrac	Vrac	Vrac	3	Vrac
Densité de chargement	Léger	Léger	Moyen	Léger		Moyen
Véhicule	Utilitaire léger (<3.5t)	Spits	Utilitaire léger (<3.5t)	Semi-remorque, lourd		Semi-remorque, lourd
Carburant	Diesel (L)	Diesel (L)	Diesel (L)	Diesel (L)	Diesel	Diesel
Distance parcourue (km)	100	100	100	100	Facteur de détour	240
Masse du chargement (t)	100	100	100	100	0,6	100

Figure 1. Interface du calculateur trajet

Seules les cases vertes peuvent être modifiées par l'utilisateur. Il existe 2 types de cases modifiables :

Zones liste déroulante

Zones à encoder

L'utilisateur doit faire un choix parmi une **liste de propositions**.

L'utilisateur doit encoder manuellement des données.

Exemple : Choix du mode de transport utilisé. L'utilisateur aura le choix entre routier, fluvial et ferroviaire. Dans la modalité 1, le type de transport choisis est « routier ».

Exemple : l'utilisateur doit lui-même encoder le nombre de KM parcourus et le poids du chargement. Dans la modalité 1, un chargement de 100 tonnes a été transporté sur 100km.

A.1. Les lignes de l'interface utilisateur dans l'onglet **calculateur - trajet**

Mode de transport
Voie de Transport
Type de chargement
Densité de chargement
Véhicule
Carburant
Distance parcourue (km)
Masse du chargement (t)

Les lignes du calculateur représentent les différentes catégories de classification des modalités de transports.

Figure 2. Catégories des modalités de transports

Mode de transport

Forme de transport utilisé dans le cadre du transport de marchandises.

3 choix disponibles : Routier – Ferroviaire – Fluvial

Voie de transport

Infrastructure ou chemin spécifique utilisé pour le déplacement des marchandises.

Base physique où se déroule le transport.

Différents choix sont possibles en fonction des modes de transport :

Tableau 1. Choix des voies de transport en fonction des modes de transport

Ferroviaire	Fluvial	Routier
Chemin de fer	Voie navigable Va	Autoroute
	Voie navigable VIb	Urbain
		Rural

◊ Fluvial

Deux types de classes ont été sélectionnés pour décrire les principales voies d'eau présentes en Belgique :

- Classe VIb : Canal Albert, Meuse liégeoise,
- Classe Va : Basse Sambre, Meuse namuroise, Haut-Escaut.

Dans le cas où le transport de marchandises emprunte plusieurs voies d'eau différentes, il est conseillé de sélectionner la voie d'eau principalement utilisée.

Les paramètres des voies d'eau (profondeur, largeur et débit) exercent une influence directe sur la consommation d'énergie des bateaux et donc sur les émissions. Globalement, bien que la consommation d'énergie dépende d'autres facteurs comme les paramètres du navire (longueur/largeur, tirant d'eau à plein et à vide) et les paramètres opérationnels (vitesse de navigation, charge), il apparaît que le transport de marchandises sur des voies d'eau plus grande demande une consommation d'énergie plus importante et donc des émissions de GES plus conséquentes que sur des voies d'eau plus petites¹.

◊ Routier

Dans le cas où le transport de marchandise emprunte plusieurs types de voies routières, il est conseillé de sélectionner la voie principalement utilisée.

La distinction entre les types de voies routières est nécessaire car les émissions peuvent varier de manière significative en raison des différences de vitesse maximale et de dynamique de conduite (degré d'accélération, de décélération, de conduite constante et

¹ Source : DELFT « STREAM Freight Transport 2020 », accessible via : https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_190325_STREAM_Freight_Transport_2020_FINAL.pdf

de marche au ralenti)². Il apparaît donc que les émissions par voies rurales sont globalement plus importantes que via les autres voies de transports. De plus, les facteurs d'émissions les moins importantes sont réalisées via le transport autoroutier.

Type de chargement

Méthode de chargement de la marchandise.

2 choix disponibles : Vrac – conteneur

Concrètement le transport de marchandises en vrac ou en conteneur aura un impact sur les émissions produites. Cet impact est différent en fonction des types de transport.

Ainsi, pour le transport ferroviaire, le changement de type de chargement aura peu d'impact sur les données d'émissions. Tandis que pour le transport fluvial, on observe que le transport par conteneur émet en moyenne légèrement plus d'émissions que le transport en vrac. Enfin, concernant le transport routier, le contraire est observé et le transport de marchandises en vrac aura un impact plus important que le transport par conteneur sur les émissions

Densité de chargement

Rapport entre la masse d'une cargaison et le volume qu'elle occupe.

Tableau 2. Types de densité de chargement disponibles dans le calculateur et exemples

Densité de chargement	Exemples
Léger <0,4 kg/L	électroménagers, meubles, textile, produits façonnés et assimilés
Moyen 0,4-1,3 kg/L	Nourriture, bois, plastique, produits chimique, voiture, déchets, papier, métaux
Lourd >1,3 kg/L	Minerais, minéraux, charbon, pétrole

Les données d'émissions sont exprimées en g/tkm. Le tkm est une unité de mesure de quantité de transport correspondant au transport d'une tonne sur un kilomètre. L'expression des émissions par tonne-kilomètre établit une relation directe entre les émissions et les performances de transport, pour un trajet donné, le produit du poids transporté (en tonnes métriques) et de la distance parcourue (en km). Les données d'émissions pour une densité de chargement léger sont donc plus importantes que pour la densité moyenne, elles-mêmes plus importantes que les émissions pour la densité lourde.

Véhicules

Les différents types de véhicules possibles sont fonction du mode de transport et du type de chargement. Ils sont présentés ci-dessous.

² Source PBL « Methods for calculating the emissions of transport in The Netherlands », accessible via : <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2020-methods-for-calculating-the-emissions-of-transport-in-the-netherlands-2020-4139.pdf>

Le type de véhicule utilisé influence les facteurs d'émissions. Cette influence est différente en fonction des différents modes de transports.

Tableau 3. Types de véhicules pour le transport ferroviaire

Ferroviaire
Traction électrique
Traction diesel

Les émissions dues à l'utilisation d'une traction électrique sont uniquement des émissions indirectes dues à la production de l'électricité utilisée, tandis que les émissions dues à l'utilisation de la traction diesel sont majoritairement des émissions directes. Au total, les émissions en g/tkm sont globalement plus importantes pour la traction diesel que pour la traction électrique.

Tableau 4. Types de véhicules pour le transport fluvial en fonction du type de chargement

Fluvial – Conteneur		Fluvial – Vrac	
Type de bateau	Capacité de charge (TEU)	Type de bateau	Capacité de charge (t)
RHK (Rhine-Herne canal)	54	Spits	350
110m (2 couches)	104	Campine	600
110m (3 couches)	192	DEK (Dortmund-Ems-Kanal)	1000
110m + barge (2 couches)	156	RHK (Rhine-Herne canal)	1350
110m + barge (3 couches)	288	Petit Rhénan	2000
		Convoi poussé	5000

Les données d'émissions sont influencées par la consommation des moteurs des différents types de bateaux ainsi que par d'autres paramètres des navires comme la longueur, la largeur et le tirant d'eau à plein et à vide.

Tableau 5. Types de véhicules pour le transport routier en fonction du type de chargement

Routier-Conteneur		Routier-Vrac	
Type de camion	Capacité de charge (TEU)	Type de camion	Capacité de charge (t)
Monobloc >20 t	1	Utilitaire léger (<3.5t)	1
Camion remorque >20 t	2	Monobloc <10 t	3
Semi-remorque, lourd	2	Monobloc 10-20 t	7,5
Eco-combi	3	Monobloc >20 t	13
		Camion remorque 10-20 t	18
		Camion remorque >20 t	28
		Semi-remorque, léger	15,7
		Semi-remorque, lourd	29,2
		Eco-combi	40,8

Les données d'émissions sont influencées par le type de véhicules utilisé et notamment par la consommation des moteurs des différents types de véhicules, ainsi que par d'autres paramètres comme les caractéristiques des véhicules, l'usure des pneus et des freins.

Carburant

Le calculateur trajet permet de sélectionner le type de carburant utilisé lors du transport des marchandises. Le type de carburant est fonction du mode de transport.

Tableau 6. Types de carburants selon le mode de transport

Ferroviaire	Fluvial	Routier
Diesel (L)	Diesel (L)	Electricité (Kwh)
Electricité (Kwh)	HVO (L)	Essence (L)
	LNG (L)	Diesel (L)
	Bio-LNG (L)	LNG (L)
		CNG (L)
		LPG (L)
		Biodiesel-B100 (L)
		Bioethanol (L)
		Hydrogène (Kg)
		GTL (L)
		BIO-CNG (L)
		BIO-LNG (L)
		HVO (L)

Tableau 7. Table des acronymes

Acronyme	Nom complet
HVO	« Hydrotreated Vegetable Oil » (huile végétale hydrotraitee)
LNG	« Liquefied Natural Gas » (Gaz naturel liquéfié)
CNG	« Compressed Natural Gas » (Gaz naturel comprimé)
LPG	« Liquefied Petroleum Gas » (gaz de pétrole liquéfié)
GTL	« Gas To Liquid » (Gaz convertis en liquide)

Distance parcourue

La distance parcourue doit être encodée manuellement en km. Elle correspond à la distance sur laquelle la marchandise est transportée, et ce par mode.

Masse du chargement

La masse du chargement correspond à la quantité (en tonne) de marchandises transportées. Elle doit être encodée manuellement en t.

Poids du conteneur : L'effet du poids du conteneur lui-même sur la consommation d'énergie et de carburant est pris en compte dans les calculs. C'est-à-dire que le poids du conteneur est compris dans le poids du camion en ce qui concerne le calcul des émissions. Lors de l'encodage du poids, seul le poids de la cargaison est à considérer.

A.2. Les colonnes de l'interface utilisateur dans l'onglet calculateur - trajet

Les colonnes représentent les 4 modalités de transport que l'utilisateur peut encoder, le transbordement et enfin le scénario *full* routier.

Intermodalité / multimodalité

1	2	3	4
Routier	Ferroviaire	Fluvial	Routier
Autoroute	Chemin de fer	Voie navigable Va	Autoroute
Vrac	conteneur	Vrac	Vrac
Moyen	Moyen	Moyen	Léger
Semi-remorque, lourd	Traction électrique	Grand Rhéna	Semi-remorque, lourd
Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
100	100	100	100
100	100	100	100

Figure 3. Zones d'encodage des modalités de transport. 4 modalités de transport différentes peuvent être encodées.

Le calculateur trajet permet d'encoder 4 types de transport différents nommés de 1 à 4. Les informations des différentes catégories qui permettent de définir les caractéristiques des modalités de transports doivent être encodées manuellement par l'utilisateur.

L'utilisateur peut utiliser le calculateur de 2 façons différentes :

❖ Comparaison de chaînes de transport unimodales

Dans ce cas, les 4 colonnes présentées à la figure 3 peuvent être utilisées pour comparer différentes manières de transporter une charge.

Exemple : Comparaison de deux scénarios routiers utilisant des carburants et/ou des véhicules différents pour transporter la même marchandise sur une même distance.

NB : Dans ce cas de figure, seuls les graphiques « blancs de résultats » peuvent être utilisés pour la comparaison. En effet, les graphiques verts comparent une chaîne de transport intermodale/multimodale avec un scénario full routier et ne sont donc pas pertinents pour la comparaison.

Afin de pouvoir comparer convenablement ces deux scénarios, un facteur de détour est appliqué à la distance. L'utilisateur peut réaliser l'encodage manuel du **facteur de détour**.

En effet, en fonction des infrastructures, du type de fret, des distances, de la topographie ainsi que de la manutention, la réalisation d'un transport intermodal/multimodal va impliquer des trajets plus importants que pour un transport routier uniquement. Il convient donc de diminuer la distance parcourue dans le cadre du scénario *full* routier afin de correspondre à la réalité de terrain.

En Belgique, on estime que le facteur de détour peut aller jusqu'au 40% de trajets supplémentaire pour des trajets intermodaux/multimodaux. **Le facteur de détour conseillé par défaut est donc 0,6.**

B. Comprendre les résultats

Le calculateur de trajet quantifie et monétarise les externalités liées au transport de marchandises.

B.1. Résultats - Emissions

L'impact environnemental du transport de marchandises est exprimé via les émissions de gaz à effet de serre (GES).

		Résultats émissions				
Transport Tonnes*km		10000	10000	10000	10000	Intermodalité 24000
CO2-eq. (kg)	Directe	571,00	0,00	121,50	821,00	1370,40
	Indirecte	180,00	146,00	38,70	258,00	432,00
	Totale					202,54
SO2 (g)	Directe	3	0	0,7	5	7,2
	Indirecte	767	40	169,3	1105	1840,8
	Totale					1,3
PM10 (g)	Directe	60	70	80	80	144
	Indirecte	0	5	0	50	0
	Totale					44,2
NOx (g)	Directe	1840	0	1800	2780	4416
	Indirecte	260	104	0	420	624
	Totale					821,6

Figure 6. Tableau de résultats des émissions de gaz à effet de serre et polluants atmosphériques calculée via le calculateur trajet

Types d'émissions

Les émissions de gaz à effet de serre sont exprimées en **CO₂ équivalent** qui correspondent aux émissions de **CO₂**, **CH₄** et **N₂O**. De plus, les émissions de particules fines (**PM10**) sont calculées ainsi que les émissions de deux autres polluants atmosphériques que sont le **SO₂** (dioxyde de soufre) et le **NO_x** (les oxydes d'azotes). Les émissions de **CO₂eq** sont exprimées en Kg. Tandis que les autres émissions sont exprimées en g.

Les émissions calculées sont exprimées en émissions directes, indirectes et totales.

- Émissions directes (TTW)** : émissions réalisées lors du transport de marchandises en tant que tel. Il s'agit de l'impact direct en termes d'émissions réalisées lors de l'utilisation d'un véhicule. On nomme également ces émissions TTW (Tank-To-Wheel), ce qui correspond aux émissions réalisées à partir du moment où le carburant est dans le réservoir ("tank") jusqu'à ce qu'il soit consommé pour propulser le véhicule en actionnant les roues ("wheel").
- Émissions indirectes (WTT)** : émissions réalisées pour la production, le transport, et la distribution des carburants ou de l'énergie jusqu'à leur point d'utilisation dans un véhicule.

En d'autres termes, les émissions WTT (Well-To-Tank) couvrent toutes les étapes avant que le carburant n'arrive dans le réservoir ("Tank") du véhicule.

- ⦿ **Emissions totales (WTW)** : émissions totales qui sont une combinaison des émissions directes et indirectes pour exprimer l'ensemble des émissions réalisées pour le transport de marchandises.

Graphiques de résultats (graphiques blancs)

Les résultats sont illustrés au travers de différents graphiques :

- ⦿ Résultats des émissions de CO_2eq

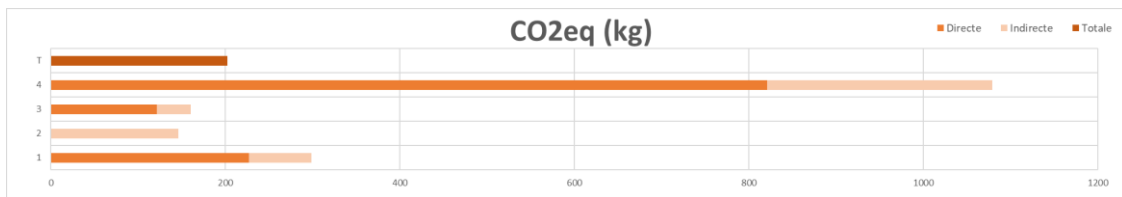


Figure 7. Graphique des émissions en kg de CO_2eq des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

- ⦿ Résultats des émissions de SO_2

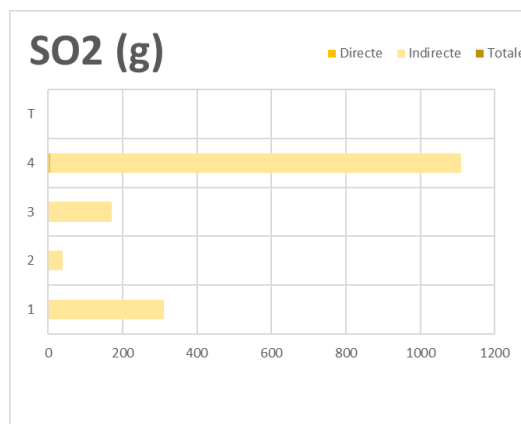


Figure 8. Graphique des émissions en g de SO_2 des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

❖ Résultats des émissions de PM10

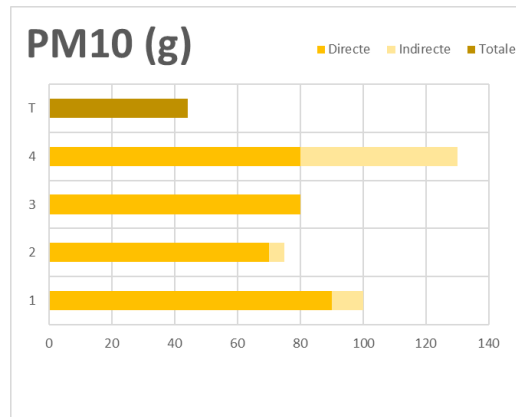


Figure 9. Graphique des émissions en g de PM10 des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

❖ Résultats des émissions de NOX

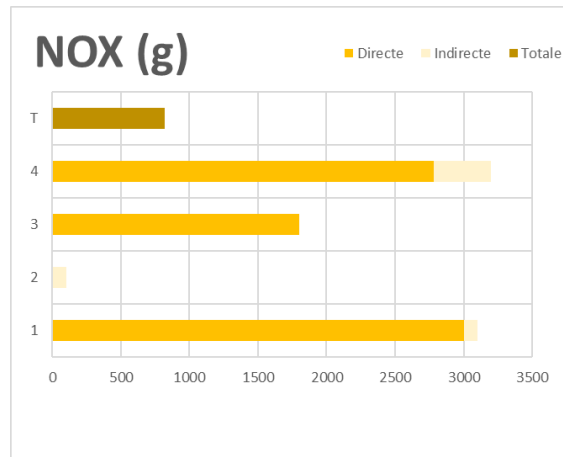


Figure 10. Graphique des émissions en g de PM10 des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

Graphiques de comparaison (graphiques verts)

Dans le cas où le calculateur est utilisé pour définir une chaîne de transports intermodale/multimodale, 4 graphiques de comparaison sont disponibles dans le calculateur afin de comparer les émissions d'une chaîne logistique intermodale avec les émissions réalisées lors d'un scénario *full* routier.

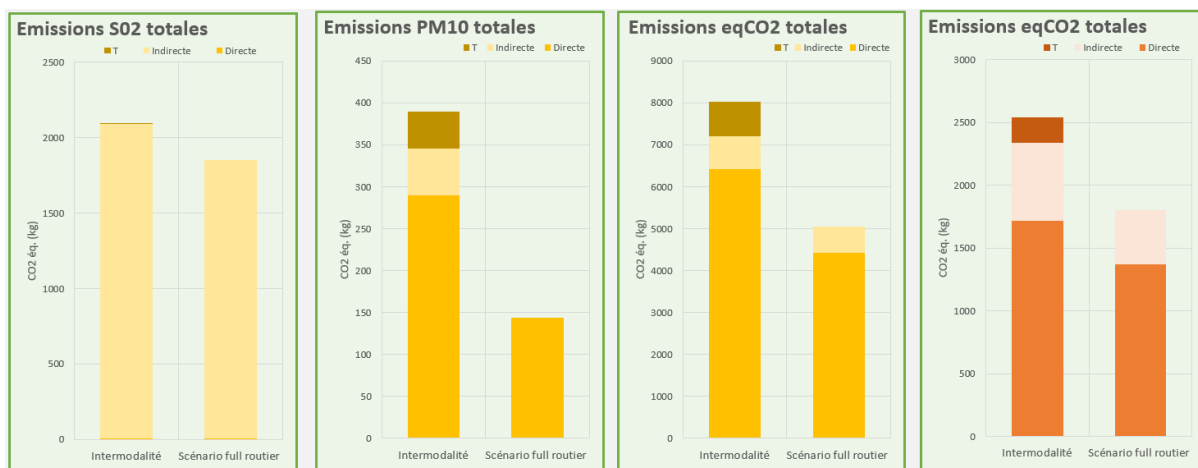


Figure 11. Graphiques de comparaison des émissions totales d'une chaîne de transport intermodale avec le scénario full routier. Les émissions directes, indirectes et dues au transbordement sont représentées dans les graphiques.

B.2. Résultats - Coûts des externalités

Résultats - Coûts des externalités en €					
Coûts totaux	480	80	280	480	1152
Accidents	50	0	0	50	120
Bruit	70	60	0	70	168
Pollution de l'air	110	0	230	110	264
Changement climatique	70	0	30	70	168
Effets de coupure	10	10	0	10	24
Effets en amont	40	10	20	40	96
Congestion	130	0	0	130	96

Figure 12. Tableau de résultats des coûts liés aux externalités.

Dans cette partie du calculateur, le coût en euro (€) de 6 externalités est calculé pour chaque modalité de transport.

Deux types de graphiques d'analyse sont produits par le calculateur :

Graphique résultats des coûts des externalités

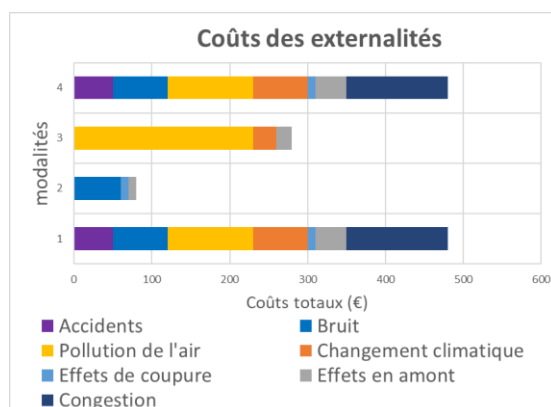


Figure 13. Graphique de comparaison du coût des externalités en fonction des différentes modalités de transport (1 à 4)

Comparaison avec le scénario full routier

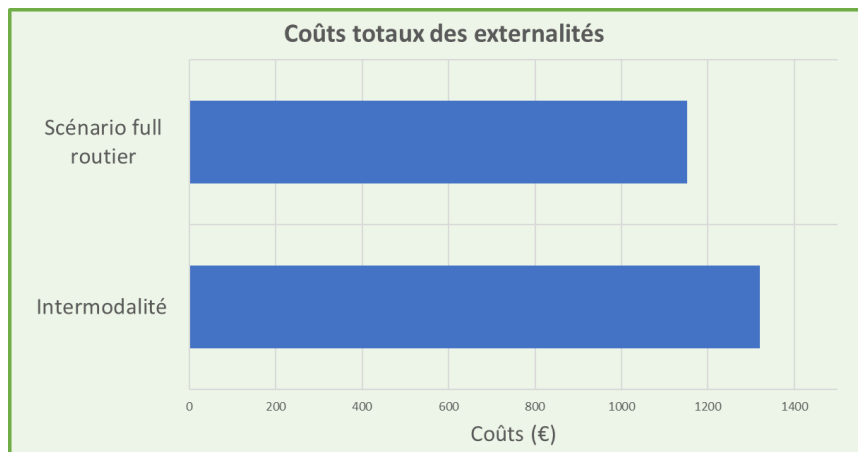


Figure 14. Graphique de comparaison des coûts totaux des externalités de l'intermodalité avec le scénario full routier

1.3. Calculateur consommation

A. Comprendre l'interface

	Interface utilisateur					Scénario full Route
Intermodalité	1	2	3	4	T	
Mode de transport	Routier	Fluvial	Ferroviaire	Fluvial	Nbr de Transbordements	Routier
Type de chargement	Conteneur	Conteneur	Conteneur	Conteneur	3	Conteneur
Carburant	Diesel (L)	Diesel (L)	Electricité (Kwh)	Diesel (L)	Diesel	Diesel (L)
Consommation	100	120	500	150	50	300

Figure 15. Interface du calculateur consommation

A.1. Les lignes

Mode de transport
Type de chargement
Carburant
Consommation

Les lignes du calculateur représentent les différentes catégories qui permettent de définir les caractéristiques des modalités de transport.

Figure 16. Catégories des modalités de transport

Mode de transport

Forme de transport utilisé dans le cadre du transport de marchandises.

Choix disponibles : Routier – Ferroviaire – Fluvial

Type de chargement

Méthode de chargement de la marchandise

Choix disponibles : Vrac – conteneur

Carburant

Le calculateur consommation permet de sélectionner le type de carburant utilisé lors du transport des marchandises. Le type de carburant est fonction du mode de transport.

Tableau 8. Types de carburants selon le mode de transport.

Ferroviaire	Fluvial	Routier
Diesel (L)	Diesel (L)	Electricité (Kwh)
Electricité (Kwh)	HVO (L)	Essence (L)
	LNG (L)	Diesel (L)
	Bio-LNG (L)	LNG (L)
		CNG (L)
		LPG (L)
		Biodiesel-B100 (L)
		Bioethanol (L)
		Hydrogène (Kg)
		GTL (L)
		BIO-CNG (L)
		BIO-LNG (L)
		HVO (L)

Consommation

La consommation doit être encodée manuellement dans le calculateur de consommation. Attention : le respect de l'unité de mesure du carburant est important.

A.2. Les colonnes

Les colonnes représentent les 4 modalités de transport que l'utilisateur peut encoder, le transbordement et enfin le scénario *full* routier.

Intermodalité/multimodalité

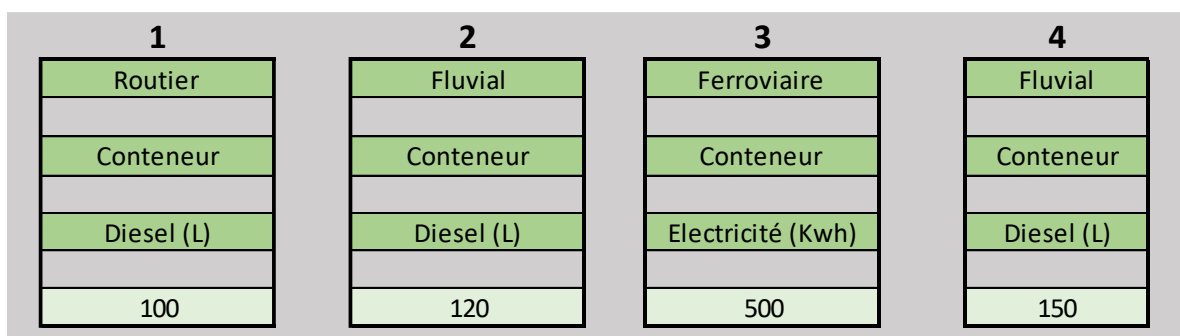


Figure 17. Zones d'encodage des modalités de transport. 4 modalités de transport différentes peuvent être encodées.

Le calculateur consommation permet d'encoder 4 types de transports différents nommés de 1 à 4. Les informations des différentes catégories qui permettent de définir les caractéristiques des modalités de transport doivent être encodées manuellement par l'utilisateur.

L'utilisateur peut utiliser le calculateur de 2 façons différentes :

◊ Comparaison de transports

Dans ce cas, les 4 colonnes présentées à la figure 3 peuvent être utilisées pour comparer différentes manières de transporter une charge. Cette utilisation permet de comparer l'impact environnemental de deux types de transports.

Exemple : Comparaison de deux scénarios routiers utilisant des carburants et/ou des véhicules différents pour transporter la même marchandise sur une même distance.

NB : Dans ce cas de figure, seuls les graphique « blancs de résultats » peuvent être utilisés pour la comparaison. En effet, les graphiques verts comparent une chaîne de transport intermodale/multimodale avec un scénario full routier et ne sont donc pas pertinente pour la comparaison.

◊ Modéliser une intermodalité

Comme présenté à la figure 3, les utilisateurs peuvent simuler une chaîne intermodale/multimodale en utilisant les colonnes 1 à 4 comme différentes étapes de la chaîne. Cette méthode permet d'analyser l'impact environnemental d'une intermodalité. Cette méthode est à combiner à l'utilisation des autres colonnes (T et scénario routier) présentées ci-après.

Transbordement

Opération de transfert de marchandises d'un mode de transport à un autre au cours d'un même trajet.

T	
Nbr de Transbordements	
	3
	Diesel
	50

Figure 18. Encodage des données de transbordement

La colonne T correspond au calcul de l'impact du transbordement au sein de l'intermodalité. Cette colonne permet de prendre en compte l'impact environnemental du transbordement engendré par les ruptures de charge.

L'utilisateur doit choisir et encoder manuellement le nombre de transbordements, le type de carburant des machines de transbordement, ainsi que la quantité de carburant dépensée dans le cadre du transbordement.

Scénario full routier et facteur de détour

Scénario full Route	
	Routier
	Conteneur
	Diesel (L)
	300

Figure 19. Zone d'encodage du scénario full routier et du facteur de détour

La colonne « scénario full routier » permet de comparer une chaîne intermodale/multimodale avec un scénario où l'entièreté du transport est réalisée via le réseau routier.

- ⦿ Les caractéristiques du transport routier doivent être définies par l'utilisateur.
- ⦿ La quantité de carburant estimée doit être encodée manuellement par l'utilisateur

B. Comprendre les résultats

Dans le cadre du calculateur - consommation, seules les données liées aux émissions sont calculées.

Résultats émissions							
CO ₂ eq (Kg)	Directe	1258,32	1251,13	1251,13	1251,13	418,323	3019,97
	Indirecte	397,27	397,27	397,27	397,27		953,45
	Totale						
SO ₂ (g)	Directe	7,91	7,91	7,91	7,91	0,002685	18,98
	Indirecte	1689,74	1689,74	1689,74	1689,74		4055,39
	Totale						
PM ₁₀ (g)	Directe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09129	0,00
	Indirecte	71,90	71,90	71,90	71,90		172,57
	Totale						
NO _x (g)	Directe	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69692	0,00
	Indirecte	593,21	593,21	593,21	593,21		1423,70
	Totale						

Figure 20. Tableau de résultats des émissions de gaz à effet de serre et polluants atmosphériques calculés via le calculateur consommation

Graphiques de résultats

Les résultats sont illustrés dans des graphiques afin de comparer les différentes émissions de chaque modalité et du transbordement. 4 graphiques sont disponibles pour chaque type d'émissions évaluées dans le calculateur. Ces graphiques de résultats sont présentés ci-dessous :

❖ Résultats des émissions de CO₂eq

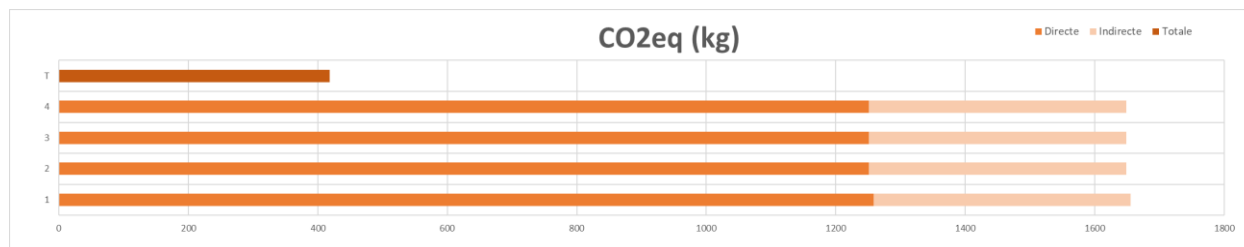


Figure 21. Graphique des émissions en kg de CO₂eq des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

❖ Résultats des émissions de SO₂

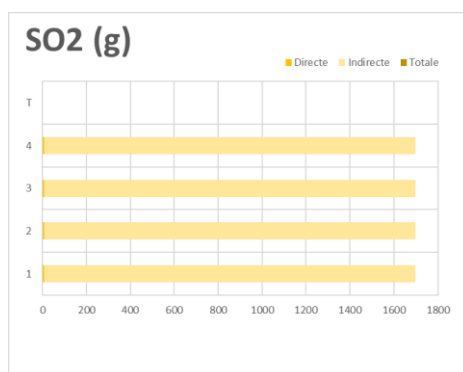


Figure 22. Graphique des émissions en g de SO₂ des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

❖ Résultats des émissions de PM₁₀

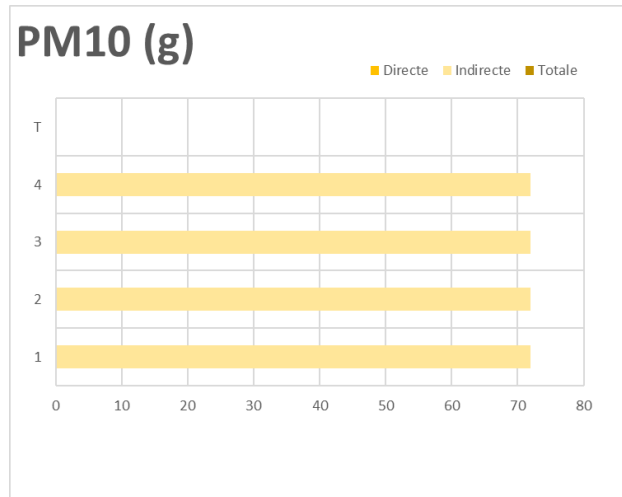


Figure 23. Graphique des émissions en g de PM10 des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

🔍 Résultats des émissions de NOX

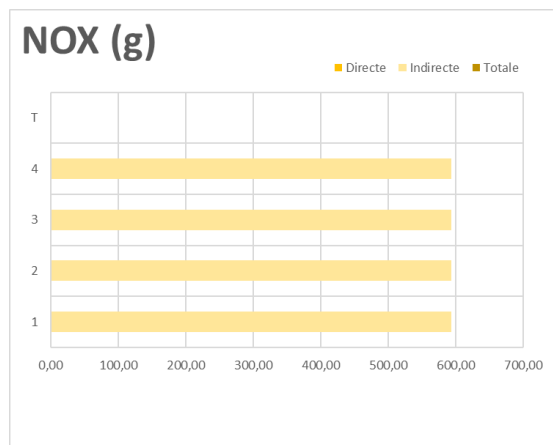


Figure 24. Graphique des émissions en g de PM10 des 4 modalités (1 à 4) ainsi que du transbordement (T). Les émissions totales des modalités de transport sont séparées en fonction des émissions directes et indirectes. Cette distinction n'est pas réalisée dans le cas du transbordement.

Graphiques de comparaison

4 graphiques de comparaison sont également disponibles dans le calculateur afin de comparer les émissions de l'intermodalité avec les émissions réalisées lors d'un scénario *full* routier.

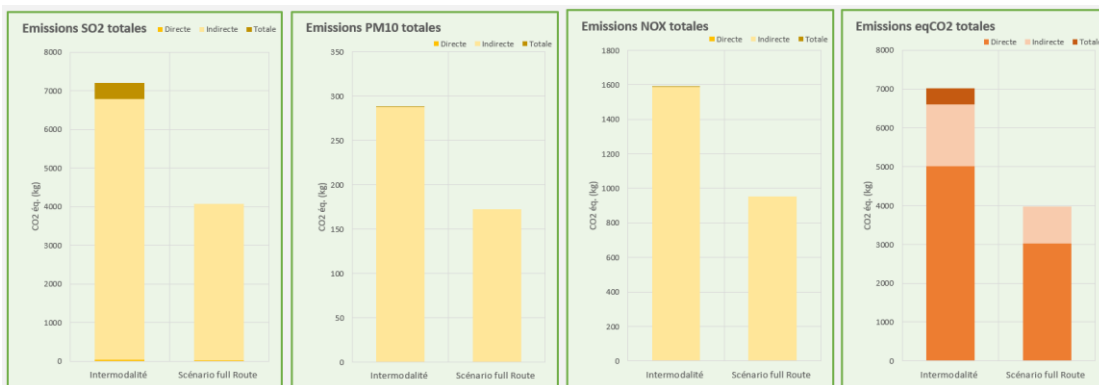


Figure 25. Graphiques de comparaison des émissions totales de l'intermodalité avec le scénario full routier. Les émissions directes, indirectes et dues au transbordement sont représentées dans les graphiques.

2. Structure et construction du calculateur

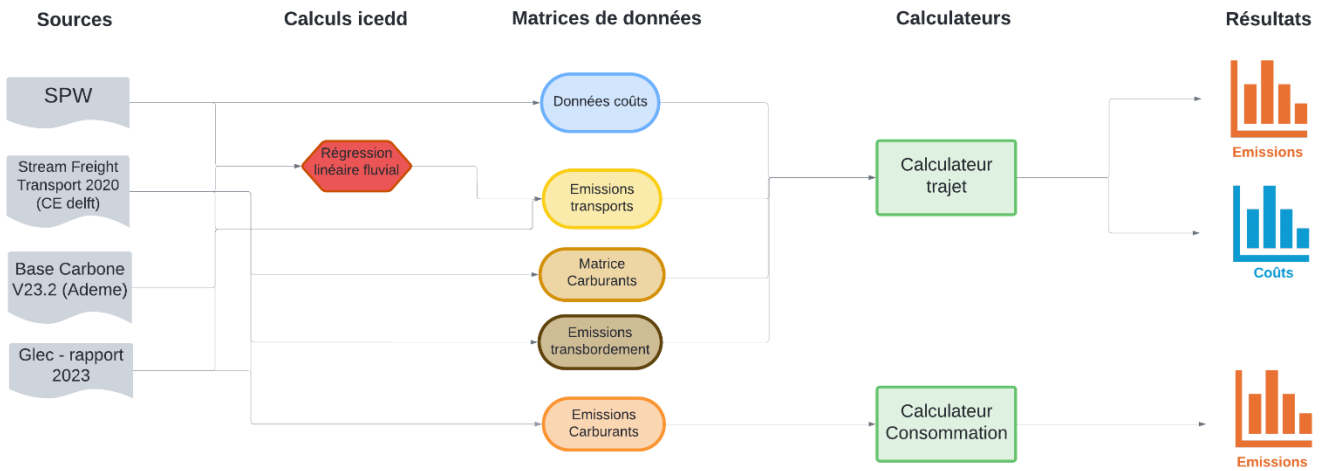


Figure 26. Arborescence des calculateurs

2.1. Sources

Différentes sources de données ont été utilisées afin de créer les différentes matrices de données qui nourrissent les calculateurs. Les sources des différentes données sont indiquées dans chaque matrice sous la colonne source.

La **source de données principale** est le [rapport 2020 stream Freight transport](#)



Sous l'acronyme STREAM (Study on Transport Emissions for All Modes), le [CE Delft](#) publie depuis près de dix ans des rapports sur les facteurs d'émission des transports. Les facteurs d'émission des études STREAM sont fréquemment utilisés par les décideurs politiques, l'industrie, les chercheurs et les consultants pour l'exploration et le développement de politiques sur des questions relatives au transfert modal, au renouvellement du parc automobile, à l'empreinte (carbone) et à d'autres sujets de ce type. Les données d'émissions du rapport Stream 2020 ont été utilisées afin de construire les différentes matrices.

Les autres sources de données utilisées dans le cadre de ce travail sont :

◊ Le [rapport 2023](#) du GLEC

Global Logistics Emissions Council Framework

for Logistics Emissions Accounting and Reporting



Le *Global Logistics Emission Council* (GLEC) a été créé en 2014 par le SFC (Smart Freight Centre) en tant que partenariat volontaire et s'est développé pour compter plus de 50 entreprises, associations industrielles et programmes de fret vert, soutenus par des experts, des gouvernements et d'autres parties prenantes. Le GLEC a pour but de développer et mettre en œuvre des lignes directrices mondiales pour calculer, rapporter et réduire les émissions logistiques qui fonctionnent pour l'industrie. Des données de consommation énergétique des types de transports ont été utilisées comme facteur de conversion afin de calculer les émissions. De plus, les données Stream ont été comparées aux données GLEC afin de vérifier les concordances entre les données.

◊ SPW



Les principaux paramètres ont été contrôlés par le SPW afin que l'outil soit le plus cohérent possible du point de vue des acteurs wallons (transporteurs, chargeurs, chercheurs, etc.). Ainsi, certains choix de véhicules référencés dans les études internationales ont été exclus des paramètres du calculateur. A

l'inverse, certains paramètres ont été ajoutés, notamment en ce qui concerne le fluvial. De plus, les coûts externes unitaires pour le transport de marchandises par type de véhicules en Wallonie (2019) ont été fournis par le SPW.

2.2. Régression linéaire du fluvial

Certaines données d'émissions pour des types de transport pertinents pour la Belgique ne sont pas disponibles dans la source de données Stream. Néanmoins, les données d'émissions peuvent être calculées sur base de la consommation énergétique (MJ/tkm) et des facteurs d'émissions fournies dans la source Stream.

Certaines données de consommation énergétique manquantes ont pu être tirées du GLEC car d'autres types de transports fluviaux y sont traités.

Les données de consommation énergétique toujours manquantes ont été calculées via des régressions linéaires à partir des données disponibles. En effet, la capacité de charge est une donnée disponible pour tout type de transport fluvial et peut être prise en compte comme une variable explicative de la consommation énergétique.

La feuille de calcul « régressions linéaires » présentent :

- le tableau des données utilisées dans le cadre des régressions
- le graphique d'acquisition de l'équation de régression linéaire
- les équations utilisées afin de calculer les consommations énergétiques manquantes. 10 équations ont été générées afin de sélectionner différents cas de figures selon le type de chargement, la densité de chargement et le type de voie navigable. Le but étant de générer des équations représentatives pour des transports similaires.

2.3. Matrices de données

A. Emissions Transports

La matrice des émissions Transports présente les émissions de **CO₂eq**, SO₂, PM₁₀ et NO_X selon 5 catégories : le mode de transport, la voie de transport, le type de chargement, la densité de chargement et le type de véhicules. Ces données sont encodées par l'utilisateur et permettent au calculateur – trajet d'aller extraire les émissions correspondantes dans la matrice. Les émissions sont exprimées en g/tkm dans la matrice.

B. Emissions carburants

La matrice des émissions de carburants reprend les émissions de **CO₂eq**, SO₂, PM₁₀ et NO_X selon le type de carburant et le mode de transport. Les unités sont en g/L, g/KWH ou g/kg en fonction du type de carburant.

C. Facteurs Carburant

La matrice « facteurs carburant » permet au calculateur d'adapter les données d'émissions en fonction du type de carburant encodé par l'utilisateur. La matrice « facteurs carburants » fournit des facteurs multiplicatifs des données d'émissions. Cette matrice permet donc de calculer les émissions de CO₂eq, PM₁₀ et Nox en fonction du type de carburant. Ces facteurs multiplicatifs sont uniquement disponibles pour les émissions directes.

D. Emissions Transbordement

La feuille de donnée « émissions transbordement » reprendre les données d'émissions dues au transbordement. Dans le cas du calculateur trajet ces émissions sont exprimées en g/tonne transbordée et dans le cas du calculateur consommation, ces émissions sont exprimées en g/kwh ou g/L en fonction du type de machines de transbordement.

E. Données coûts

La matrice de données des coûts a été créé sur base des données du SPWI MI.

Coûts externes unitaires* pour le transport de marchandises par types de véhicules** en Wallonie (2019)					
Valeurs absolues (€/t-km)	Routier	Utilitaires léger diesel	Fluvial	Train électrique	Train diesel
Accidents	0,5	3,2	-	0	0
Bruit	0,7	1,9	0	0,6	0,4
Pollution de l'air***	1,1	3,2	2,3	0	0,2
Changements climatiques****	0,7	4	0,3	0	0,2
Effets de coupure*****	0,1	0,7	0	0,1	0,1
Effets en amont*****	0,4	1,8	0,2	0,1	0
Congestion	1,3	11,5	-	-	-
Total	4,5	26,3	2,7	1	0,9

* Les coûts externes unitaires correspondent aux coûts externes totaux rapporté à l'unité (tonne-km).
** Véhicules utilitaires légers non compris. Le passage des coûts externes totaux aux coûts externes unitaires dépend en grande partie du taux de chargement de ce type de véhicule, un paramètre peu étudié.
*** Seules sont considérées les émissions directes
**** Les effets de coupure correspondent aux obstacles que constituent les infrastructures de transports, ceux-ci ayant des conséquences tant sur la biodiversité que sur l'activité humaine.
***** Les effets en amont sont liés aux émissions indirectes produites à toutes les étapes des processus de production et de mise à disposition de l'énergie avant sa consommation.
Ils permettent notamment de prendre en comptes les émissions liées à la production d'électricité pour les véhicules électriques

Figure 27. Tableau des coûts des externalités pour la Wallonie fournie par le SPWI MI

Le coût en €/t-km est donné pour 7 externalités différentes et selon le mode de transport. Cette matrice permet au calculateur trajet d'aller chercher les différents coûts en fonction des informations encodées par l'utilisateur.

2.4. Hypothèses

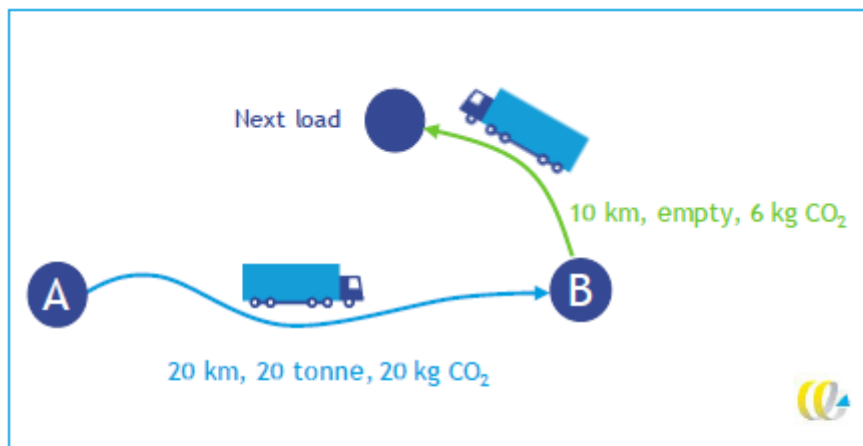
Différentes hypothèses sur les données ont dû être considérées dans le cadre du calculateur. La majorité de ces hypothèses sont liées à la source de données STREAM et à la façon dont ont été calculées les données d'émissions.

◊ Poids moyen de la cargaison des containers

- Container léger = 6t/TEU
- Container poids moyen = 10,5t/TEU
- Container lourd = 14t/TEU

◊ Trajets à vide

Un pourcentage de trajet à vide est pris en compte dans les calculs d'émissions des GES et autres polluants atmosphériques. Les trajets à vide sont intégrés dans les données comme un pourcentage du trajet total effectué. Pour chaque mode de transport et catégorie de véhicule, les facteurs d'émission par tonne-kilomètre présentés dans le STREAM sont donc les moyennes des trajets en charge et à vide. Cette façon de faire est présentée dans la figure 28 ci-dessous.



Calculation of the CO₂ emission factor per tonne-km (tkm) is then as follows:

- physical tkm: $20 \text{ km} \times 20 \text{ tonne} + 10 \text{ km} \times 0 \text{ tonne} = 400 \text{ tkm}$;
- CO₂ emissions: $20 \text{ kg CO}_2 + 6 \text{ kg CO}_2 = 26 \text{ kg CO}_2$;
- emissions per tonne-kilometre: $26,000 / 400 = 65 \text{ g CO}_2 / \text{tkm}$.

Figure 28. Représentation du calcul des émissions de CO₂ d'un trajet de livraison de 20 km de A à B, qui émet 20 kg de CO₂, suivi d'un trajet à vide de 10 km, qui émet 6 kg de CO₂.

◊ Facteur de charge

Le facteur de charge correspond à la proportion de la capacité de charge totale du véhicule occupée par la cargaison d'un véhicule. Le facteur de charge est pris en compte pour le calcul des émissions des GES et est basé sur des données de terrain évaluées par la source Stream. En effet, le facteur de charge rentre dans le calcul final du tonnage moyen dans les différents véhicules. Ce tonnage moyen est utilisé dans Stream pour exprimer les émissions en tkm.