

2014



LES EMISSIONS DE CO2 DU FRET FERROVIAIRE FACE AU ROUTIER

Le rapport ci-dessous présente le calcul des émissions de CO2 du fret ferroviaire et le compare aux émissions de CO2 du transport routier

Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Méthodologie	4
3. Les différentes sources d'émissions de CO2	4
4. Traction électrique	5
5. Traction diesel	9
6. Construction et maintenance de l'infrastructure	14
7. Fabrication des véhicules roulants.....	16
8. Comparaison avec le transport routier	18
9. Finalisation du calcul	22
10. Conclusion.....	25

1. Introduction

Le secteur du transport étant l'un des principaux générateurs de CO₂, il est dorénavant demandé aux acteurs d'avoir connaissance et de diffuser leur empreinte environnementale. Cela contribue à répondre à quatre exigences fondamentales :

- Atteindre les objectifs nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Valoriser des prestations à faible émission et mettre en évidence les progrès réalisés
- Pour les entreprises qui reçoivent l'information : connaître l'impact de leur activité et utiliser cette information pour l'évaluation des émissions indirectes dans le cadre de leurs bilans d'émissions
- Améliorer et harmoniser les méthodes d'évaluation d'émissions de CO₂ : de nombreuses informations via des calculateurs CO₂ ou des éco-comparateurs ont été mises à disposition, mais il n'existait pas, jusqu'à ce jour, de cadre commun pour l'ensemble des modes de transport.

Concernant le fret ferroviaire, Les enjeux de développement durable sont une part importante des enjeux stratégiques. Pour réponse au Grenelle de l'environnement l'Etat a fixé un objectif précis : **augmenter la part de marché du fret non routier avec une réduction annuelle, à terme, de plus de 2 millions du nombre de trajets poids lourds sur les routes françaises et de plus de 2 millions de tonnes d'émissions de CO₂.**

Cet effort s'inscrit dans le plan stratégique de réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ mis en place par l'Union Internationale Ferroviaire (UIC) et la Communauté Européenne des Chemins de Fer (CER).

Dans ce plan, les compagnies ferroviaires européennes s'engagent à réduire leur consommation électrique de 30% d'ici 2030, puis de 50% à l'horizon 2050 (par rapport aux niveaux de 1990). A terme, le but est de réussir la décarbonisation du ferroviaire et de **renforcer sa position de mode de transport le moins énergivore.**

En réponse, le gestionnaire d'infrastructure français a pris plusieurs engagements dont celui de créer un péage vert pour le fret.

Selon un sondage réalisé auprès de 471 dirigeants d'entreprises sur les deux avantages majeurs du recours au fret ferroviaire, le fait d'être plus respectueux de l'environnement que les autres modes de transports est cité à 62% dont 31% en premier critère.

Le mode routier, qui est relativement touché, a entrepris plusieurs travaux d'études sur les émissions de CO₂ alors que pour le transport ferroviaire, les données restent limitées.

Les éco-comparateurs existants se basent principalement sur un facteur d'émission constant et sur la distance parcourue. Si l'on prend l'éco-comparateur de la SNCF voyageur, nous voyons que la valeur retenue en 2006 était de 5,4 gCO₂/Voy.Km en moyenne et quelle est de 25,25 gCO₂/Voy.km deux ans plus tard.

La variété des résultats sur le sujet nous encourage à mener l'enquête sur le transport de marchandise.

2. Méthodologie

Nous identifierons dans ce rapport les ordres de grandeurs des émissions de CO₂ du transport ferroviaire fret afin, notamment, d'évaluer les différents facteurs qui entrent en jeu.

Dans un second temps, il s'agit d'estimer le ratio des émissions de CO₂ entre le routier et le ferroviaire.

La diversité des résultats nous incite à identifier et analyser les différentes sources nécessaires pour réaliser les calculs.

Différents critères interviennent pour réaliser un calcul final, nous prendrons alors pour le transport ferroviaire les sources les plus restrictives et pour le transport routier les sources les moins restrictives afin d'avoir un premier ratio minimal d'émission de CO₂.

3. Les différentes sources d'émissions de CO₂

Les méthodes de calcul nationales et internationales se basent toutes sur le même principe : Convertir la consommation d'une quantité de source d'énergie en dioxyde de carbone par l'utilisation d'un facteur d'émission qui est spécifique à l'élément qui est consommé.

Assez loin de l'idée que l'on peut avoir sur le transport ferroviaire (« 0g de CO₂ émis »), plusieurs sources d'émissions interviennent. Afin de calculer les émissions de CO₂ d'un type de transport il faut prendre en compte :

- Les émissions générées par la consommation directe de l'énergie
- Les émissions générées par la source d'énergie en phase amont (extraction, transformation, distribution)
- Les émissions liées à la construction et la maintenance de l'infrastructure
- Les émissions liées à la fabrication du matériel

Dans le cas du ferroviaire, l'émission directe de CO₂ pour le cas de la traction électrique est nulle.

La phase de fonctionnement correspond à l'utilisation du moyen de transport, et donc à la combustion de la source d'énergie (carburant). La phase amont correspond aux activités mises en œuvre pour que le moyen de transport dispose de sa source d'énergie (qu'il s'agisse de gazole, de GNV, d'électricité...) : il peut donc s'agir de l'extraction du pétrole, de son raffinage, de la distribution du carburant depuis la raffinerie jusqu'à la pompe. Dans le cas de l'électricité, il s'agit de l'extraction du combustible utilisé dans la centrale, de son transport et des émissions liées à son utilisation dans la centrale électrique.

Nous pouvons penser que l'infrastructure et le matériel sont négligeables lorsque l'on ramène le calcul à un train unique. Il convient cependant d'effectuer le calcul pour mesurer son importance.

4. Traction électrique

Comme nous l'avons spécifié, la consommation directe est nulle dans le cas de la traction électrique. Il faut alors s'intéresser aux émissions de CO₂ en phase amont.

Il s'agit de déterminer le facteur d'émission électrique d'un réseau ferroviaire, nous nous apercevons rapidement de la diversité des chiffres sur ce domaine. Le réseau ferré français propose aux entreprises ferroviaires de choisir leur propre fournisseur d'électricité. Aujourd'hui, bien qu'il ne soit pas possible de savoir d'où vient l'électron consommé par un train précis, on connaît les différents fournisseurs du réseau.

Nous remarquons également que que différents acteurs européens interviennent.

Le facteur d'émission électrique (gCO₂ / KW.h) est une moyenne pondéré des différents modes de production d'électricité sur le réseau : nucléaire, hydraulique, charbon ... Celui-ci varie donc selon les heures de la journée, les mois et les années selon la consommation individuelle et les modifications de la production. Pour se rendre compte de la méthode de calcul du facteur d'émission, on fera l'exercice avec le cas d'EDF dont les données sont relativement accessibles.

Ci-dessous les émissions de CO₂ en fonction de la filière d'exploitation. Sont présent en compte les émissions directes pendant l'exploitation des centrales (combustion du charbon par exemple), mais aussi celles entraînées par les autres étapes du cycle de vie (construction et déconstruction des installations industrielles, fabrication et transport des combustibles, élimination des déchets ...).

Filières	Total (g eq CO ₂ /kWh)
Nucléaire	4
Charbon (600 MW - avec désulfuration)	1022
Charbon (250MW - sans désulfuration)	1065
Fioul	1119
TAC (<i>turbine à combustion</i>)	1103
Hydraulique (<i>pompage</i>)	137
Hydraulique (<i>fil de l'eau</i>)	6
Hydraulique (<i>retenue</i>)	6
Diesels	885
Eolien	14
CCG	499

Figure 1 : Coefficient démission de CO₂ par filière de production. Source : EDF, Coefficients 2012, utilisés pour les calculs de l'année 2014

Ci-dessous les émissions de CO2 journalières et mensuelles de l'électricité en France :

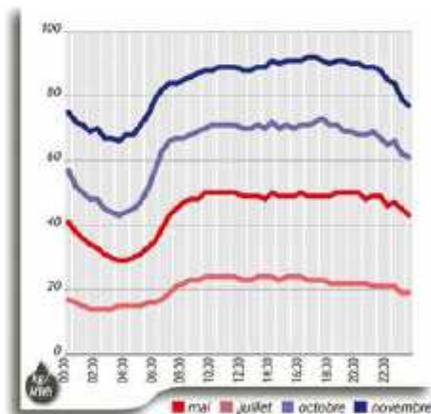


Figure 2 : Courbes journalières moyennes par mois des taux d'émission de CO2 en 2011.
Source : RTE, Ecomix

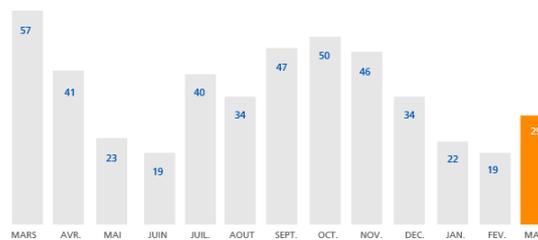


Figure 3 : Indicateurs mensuel d'émissions de gaz à effet de serre en 2013 - 2014 (en gCO2 / KW.h).
Source : EDF

Les taux varient autour d'une moyenne durant la journée, mais du simple au double sur des mois différents (variation des conditions climatiques). Une demande plus forte en énergie nécessite une exploitation plus importante et diminue la part du nucléaire.

La forte utilisation du nucléaire dans la production d'électricité en France nous garantit jusqu'à 75 % d'émissions de CO2 par KW.h en moins que le reste de l'Europe.

Une étude a été réalisée en 2005 par PriceWaterhouseCoopers et ENERPRESSE sur les facteurs d'émission par producteur pour les acteurs européens (données pour année 2004) :

Nom	g CO2/kWh
Allemagne, EnBW	263
Allemagne, Eon	381
Allemagne, RWE	779
Autriche, Verbund	133
Belgique, Electrabel	327
Danemark, Elsam	436
Danemark, energi E2	678
Danemark, Elsam	436
Espagne, Endesa	507
Espagne, Hidrocantabrio	864
Espagne, Iberdrola	179
Espagne, Union Fenosa	593
Espagne, Viesgo generacion	823
Finlande, Fortum	187
Finlande, PVO	280
France, EDF France	42
France, SNET	985
GB, British Energy	106
GB, Drax	833
GB, EDF Energy	812
GB, Eon UK	719
GB, RWE UK	681
GB, Scottish & Southern	524
Grèce, DEI	1 015
Italie, Endesa Italia	550
Italie, Edison	569
Italie, ENEL	503
Norvège, Statkraft	0
Pays-Bas, Essent	484
Portugal, EDP	475
République Tchèque, CEZ	575
Suède/All, Vattenfall	410

A noter que le ministère de l'écologie, pour l'Application de l'article L. 1431-3 du code des transports (Information CO2 des prestations de transport), préconise un taux de 53 gCO2/kWh pour une source d'énergie consommée en France et 420 gCO2/kWh pour une source consommée en Europe.

Aujourd'hui, les entreprises ferroviaires se fournissent chez différents acteurs Européens. On choisira alors pour la suite du calcul le taux de 420 gCO2/kWh.

On applique également le coefficient de 1.15 (8% et 15% de l'électricité produite) afin de prendre en compte les pertes liées au transport ainsi que les pertes caténaïres.

On obtient le taux de 483 gCO2/kWh.

Il s'agit maintenant d'identifier les KW.h utilisés lors d'un trajet par Km et par Tonne.

On peut faire un travail de comparaison entre plusieurs sources :

Source 1 : J.P Baumgartner, *Prices and costs in the Railway sector, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Janvier 2001.*

Traction électrique - consommation unitaire			
Distance entre deux arrêts successifs (Km)	Vitesse maximale (Km/h)	Pente (%)	Consommation unitaire (W.h / t.Km brut)
100	140	0 à 5	0,04
100	120	0 à 5	0,03
100	100	0 à 5	0,022
100	80	0 à 5	0,015
50	60	0 à 5	0,015
50	60 à 80	25	0,045
5	80	0 à 5	0,025
5	60	25	0,05

Figure 2 : consommation en W.h / t.Km pour la traction électrique en fonction de la pente, vitesse et distance entre deux arrêts successifs

A noter que la vitesse maximale du fret sur le réseau français est de 120Km/h. On remarque également des écarts important de consommation lorsque la pente augmente.

Source 2: *EcoTransIT World, Methodology and Data – Update – July 31th 2011, Juillet 2011*

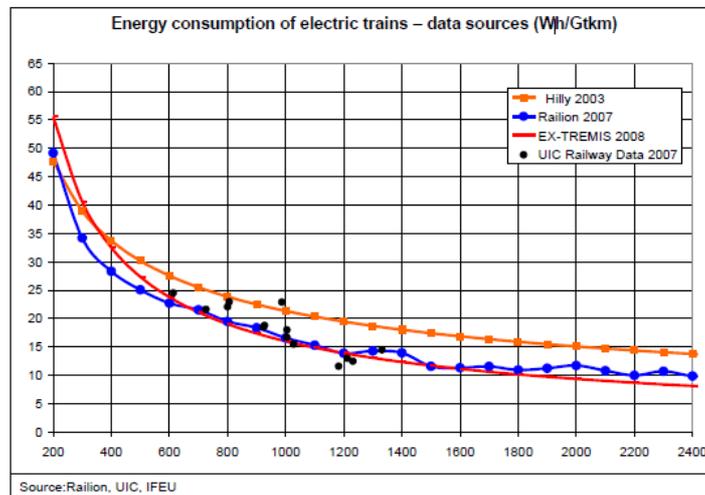


Figure 3 : Consommation d'énergie pour les trains électriques - données sources

Train Type	Final Energy Consumption			
	Train	Bulk	Freight	Volume
			Average	
Unit	Wh/Gtkm		Wh/Ntkm	
Light Train (500t)	25.5	42.7	49.5	63.9
Average Train (1000t)	16.6	27.8	32.2	41.5
Large (1500t)	12.9	21.6	25.0	32.3
Extra Large (2000t)	10.8	18.1	20.9	27.0
Heavy (>2000t)	10.0	16.8	19.4	25.1

Source: Railion 2007, IFEU 2008

Figure 4 : Consommation finale d'énergie d'un train électrique

Les données ci-dessus ne prennent pas en compte la pente éventuelle ni la vitesse. On a ici cependant une variation en fonction du tonnage complet du train.

Source 3 : *Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, information CO2 des prestations de transport, Octobre 2012.*

Description (selon la densité des marchandises transportées et la source d'énergie utilisée)	Nombre d'unités transportées dans le moyen de transport (tenant compte des trajets à vide)	Taux de consommation de source d'énergie du moyen de transport (en unité de mesure de la quantité de source d'énergie par kilomètre)
Marchandises de densité inférieure ou égale à 249 kg/m ³		
Électricité	400 tonnes	16,60 kWh / km
Gazole non routier		3,85 kg / km
Mixte : électricité/gazole non routier		Electricité : 14,94 kWh / km Gazole non routier : 0,38 kg / km
Marchandises de densité comprise entre 250 et 399 kg/m ³		
Électricité	520 tonnes	16,74 kWh / km
Gazole non routier		3,88 kg / km
Mixte : électricité / gazole non routier		Electricité : 15,07 kWh / km Gazole non routier : 0,39 kg / km
Marchandises de densité supérieure ou égale à 400 kg/m ³		
Electricité	600 tonnes	16,68 kWh / km
Gazole non routier		3,86 kg / km
Mixte : électricité / gazole non routier		Electricité : 15,01 kWh / km Gazole non routier : 0,39 kg / km

Figure 5 : Taux de consommation de source d'énergie - Transport ferroviaire de marchandises

Les données ci-dessus ne prennent pas en compte la pente éventuelle ni la vitesse mais de la densité de la marchandise et des trajets à vide. Les valeurs sont basées sur un train complet de 1000 tonnes.

Les trois sources donnent des ordres de grandeurs similaires avec des taux compris entre 0,010 KW.h / t.km et 0,045 KW.h / t.km.

On affine ce calcul en connaissant les pentes, la composition et les détails du transport de chaque train.

Pour un train transportant 600 tonnes (1000 t brut) avec une vitesse moyenne de 100 km/h sur une distance de plus de 100 km et une pente nulle, les valeurs sont respectivement pour les 3 sources :

Source 1: 0,022 KW.h / t.km

Source 2: 0,017 KW.h / t.km

Source 3: 0,017 KW.h / t.km

Il faut préciser également qu'un train ne consomme pas d'énergie sur l'ensemble de son trajet. L'éco-conduite qui favorise une utilisation en « roue-libre » du train (jusqu'à 30% sur un trajet) se développe pour renforcer les rentabilités. Pour notre calcul, on ne prendra pas en compte ce facteur.

La consommation d'énergie réelle d'un train peut-être connue aujourd'hui grâce aux outils informatiques et aux boîtiers de télérelèves qui équipent certaines locomotives.

La collecte des données de consommations et les modes de consommations sont aujourd'hui des enjeux majeurs pour les opérateurs ferroviaires.

5. Traction diesel

Pour la traction diesel, nous devons calculer le niveau de consommation directe et de consommation amont. Au vu des disparités des chiffres sur le sujet, nous proposons également de comparer plusieurs sources :

Source 1: *EcoTransIT World, Methodology and Data – Update – July 31th 2011, Juillet 2011*

	g/kg	kg/TJ
Carbon dioxide (CO ₂) – conventional diesel fuel	3,179	74,000
Carbon dioxide (CO ₂) – biodiesel	0	0
Laughing gas (N ₂ O)	0.043	1.0
Methane (CH ₄)	0.086	2.0
Carbon dioxide equivalent (CO ₂ e) - conventional diesel fuel	3'268	74'348
Carbon dioxide equivalent (CO ₂ e) - biodiesel	15.3	348

Sources: UBA, IFEU

Figure 6: émission de CO₂ du gazole

Avec 1L de Gazole = 0,83 kg, nous obtenons une valeur de 2,64 KgCO₂ / L pour la phase de combustion.

Source 2 : *ADEME - Facteurs associés à la consommation directe d'énergie, Juin 2010*

Combustible	kg équ. C par tonne		kg équ. C par kWh		kg équ. C par tep		kg équ. C par litre	
	production	combustion	production	combustion	production	combustion	production	combustion
Pétrole brut	60	836	0,005	0,072	59	833	0,05	0,75
Fioul lourd	116	851	0,010	0,077	121	890	0,10	0,77
Fioul domestique	91	859	0,008	0,074	90	856	0,08	0,73
Gazole	91	859	0,008	0,074	90	856	0,08	0,73
Kérosène	78	888	0,006	0,073	74	845	0,07	0,75
Carburacteur	78	852	0,006	0,070	74	811	0,06	0,68
Essence moteurs terrestres	148	876	0,012	0,072	140	833	0,11	0,66
Essence aviation	148	876	0,012	0,072	140	833	0,11	0,66
Naphta	78	896	0,006	0,072	72	833		
Huile de schiste	708	717	0,071	0,072	823	833		
Huile usée	78	0	0,006	0,072	75	833		
Solvant usagé	78	489	0,004	0,069	47	799		
Lubrifiants usagés	78	800	0,006	0,072	75	833	0,07	0,73
White spirit	78	834	0,007	0,072	78	833	0,06	0,65
Bitumes	77	436	0,006	0,039	73	457		
Autres produits pétroliers (graisses, aromatiques, etc)	78	800	0,006	0,072	75	833		
Gaz naturel liquéfié (GNV)	138	771	0,010	0,056	116	651		
Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	150	803	0,012	0,063	136	731	0,08	0,43

Figure 7 : facteurs d'émission (amont et combustion) de différents carburants

Avec 1 Kg eq C = 3.67 gCO₂ Nous obtenons donc les valeurs ci-dessous pour le Gazole :

Production: 0.29 Kg CO₂ / L

Combustion: 2.68 Kg CO₂ / L

Total: 2.97 Kg CO₂ / L

Source 3: ADEME, Base Carbone, 2013

Combustible	Total (kg CO2e/kWh PCI)	Total (kg CO2e/Tep)	PCI en GJ/T (France)	Total (kg CO2e/T) (France)	Masse volumique (kg/m3)	Total (kgCO2e/L)
Pétrole Brut	0.022	262	42.0	262	900	0.236
carburacteur large coupe (jet B)	0.053	624	44.0	653	800	0.523
essence aviation (AvGas)	0.053	624	44.0	653	800	0.523
Kérosène (jet A1 ou A)	0.053	624	44.0	653	800	0.523
Naphta	0.041	478	45.0	512		
Huiles de schistes	0.057	666	36.0	571		
Gasoil pur	0.057	666	42.0	666	845	0.563
Essence pure	0.051	595	44.0	623	755	0.470
Fioul domestique	0.057	666	42.0	666	845	0.563
Fioul lourd	0.045	520	40.0	496	900	0.446
Bitumes	0.029	339	40.2	324		
Butane (GPL)	0.037	427	45.6	464	538	0.249
Propane (GPL)	0.036	423	46.0	464	538	0.249

Figure 8 : facteurs d'émissions amont des combustibles fossiles liquides pour le périmètre France

Combustibles	Total amont + combustion (tCO2e/TJ PCI)	Total amont + combustion (kgCO2e/kWh PCI)	Total amont + combustion (kgCO2e/Tep PCI)	Total amont + combustion (kgCO2e/(kgCO2e/litre t))	Total amont + combustion (kgCO2e/litre)
Pétrole Brut	79,2	0,285	3328	3328	2,995
carburacteur large coupe (jet B)	86,5	0,311	3631	3804	3,043
essence aviation (AvGas)	86,5	0,311	3631	3804	3,043
Kérosène (jet A1 ou A)	86,5	0,311	3631	3804	3,043
Naphta	84,4	0,304	3544	3797	
Huiles de schistes	88,9	0,320	3732	3199	
Gasoil pur	91,6	0,330	3845	3845	3,249
Essence pure	88,3	0,318	3710	3886	2,934
Fioul domestique	91,4	0,329	3839	3839	3,244
Fioul lourd	90,9	0,327	3820	3638	3,274
Bitumes	89,1	0,321	3741	3580	
Butane (GPL)	74,9	0,270	3146	3416	1,838
Propane (GPL)	74,8	0,269	3142	3442	1,852

Figure 9 : facteurs d'émissions amont et combustion des combustibles fossiles liquides pour le périmètre France

Il s'agit ici de Kg de CO2 équivalent (CO2e) qui prend en compte les émissions des autres gaz. Ceux-ci représentent 3% en moyenne de majoration sur le total de CO2 émis.

Nous obtenons donc les valeurs ci-dessous pour le Gazole :

Production: 0,54 Kg CO2 / L
 Combustion: 2,61 Kg CO2 / L
 Total: 3,15 Kg CO2 / L

Source 4 : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, information CO2 des prestations de transport, Octobre 2012.

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 (kg de CO ₂ par unité de mesure de la quantité de source d'énergie)		
			Phase amont	Phase de fonctionnement	Total
Gazole	Gazole non routier à la pompe	Kilogramme (kg)	0,68	2,95	3,63

Figure 10 : facteurs d'émission des sources d'énergie - train diesel

Avec 1 L de Gazole = 0,83 kg, nous obtenons les valeurs ci-dessous :

Production: 0,56 Kg CO2 / L
 Combustion: 2,45 Kg CO2 / L
 Total: 3,02 Kg CO2 / L

Selon les sources, les valeurs totales varient entre 2.97 Kg CO₂ / L et 3,15 Kg CO₂ / L.
Nous nous baserons donc sur le calcul la valeur la plus restrictive de **3,15 KgCO₂/L**.

Afin de déterminer la consommation par tonne kilomètre, nous allons de nouveau comparer plusieurs sources :

Source 1 : *MEDD, Railion 2007, IFEU 2008, EPS 2005, USDOT 2008*

	kgCO ₂ /GJ	PCI (GJ/tonne)	kgCO ₂ /tep (PCI)	gCO ₂ /kWh
Essence	73	44	3 066	264
Gazole/FOD	75	42	3 150	271
Fuel lourd	78	40	3 276	282
Gaz naturel	57	49,6	2 394	206
Kérosène	74	44	3 108	267
Charbon	95	26	3 990	343
GPL	64	46	2 688	231
Déchets ménagers	41,3	8,8	1734,6	149

Figure 11: émissions polluantes.

Source : MEDD, questionnaire de déclaration annuelle des émissions polluantes 2005 des installations classées soumises à autorisation

Train Type	Final Energy Consumption			
	Train	Freight		Volume
		Bulk	Average	
Unit	Wh/Gtkm	Wh/Ntkm		
Light Train (500t)	68.8	115.5	133.7	172.6
Average Train (1000t)	44.8	75.2	87.0	112.3
Large (1500t)	34.8	58.4	67.6	87.3
Extra Large (2000t)	29.1	48.9	56.6	73.1
Heavy (>2000t)	27.0	45.4	52.5	67.8
Values of heavy trains		Average (not specified)		
China 2008	27		61	
Canada 2003	33		66	
US Track 1 2006				

Source: Railion 2007, IFEU 2008, EPS 2005, USDOT 2008

Figure 12 : Consommation d'énergie finale pour les trains diesel

Nous obtenons ici les valeurs de la phase de combustion uniquement. Ci-dessous le tableau récapitulatif des données :

Type de train	Wh/Gt.Km	gCO ₂ /kW.h	gCO ₂ /t.Km
Train léger (500t)	68,8	271	18,6448
Train moyen (1000t)	44,8		12,1408
Train long (1500t)	34,8		9,4308
Tain très long (2000t)	29,1		7,8861
Train lourd (>2000t)	27		7,317

Figure 13 : Taux d'émission de trains diesel

Source 2 : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, information CO2 des prestations de transport, Octobre 2012.

Description (selon la densité des marchandises transportées et la source d'énergie utilisée)	Nombre d'unités transportées dans le moyen de transport (tenant compte des trajets à vide)	Taux de consommation de source d'énergie du moyen de transport (en unité de mesure de la quantité de source d'énergie par kilomètre)
Marchandises de densité inférieure ou égale à 249 kg/m ³		
Gazole non routier	400 tonnes	3,85 kg / km
Marchandises de densité comprise entre 250 et 399 kg/m ³		
Gazole non routier	520 tonnes	3,88 kg / km
Marchandises de densité supérieure ou égale à 400 kg/m ³		
Gazole non routier	600 tonnes	3,86 kg / km

Figure 14 : taux de consommation des sources d'énergie - train diesel

Description (selon la densité des marchandises transportées et la source d'énergie utilisée)	Taux d'émission de CO ₂ par tonne kilomètre
Marchandises de densité inférieure ou égale à 249 kg/m ³	
Gazole non routier	34,9 g CO ₂ / t.km
Marchandises de densité comprise entre 250 et 399 kg/m ³	
Gazole non routier	27,1 g CO ₂ / t.km
Marchandises de densité supérieure ou égale à 400 kilogrammes par mètre cube	
Gazole non routier	23,4 g CO ₂ / t.km

Figure 15 : taux d'émission de CO2 – train diesel

On a ici directement le taux d'émission de CO2 par tonne kilomètre.

Les valeurs ci-dessus qui correspondent au taux par tonne de marchandise seront ramenées au tonnage total du train pour la suite du calcul :

Densité inférieure ou égale à 249 Kg/m³ : 13.98 gCO₂ / t.Km

Densité comprise entre 250 et 300 Kg/m³ : 14.08 gCO₂ / t.Km

Densité supérieure ou égale à 400 Kg/m³ : 14.01 gCO₂ / t.Km

Source 3 : J.P Baumgartner, Prices and costs in the Railway sector, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Janvier 2001.

Traction Diesel - consommation unitaire		
Vitesse maximale (Km/h)	Pente (%)	Consommation unitaire (L / t.Km brut)
100	0	0,0045
40	5	0,0045
20	10	0,006
20	15	0,008
20	20	0,0095
20	25	0,0115

Si l'on prend un facteur d'émission totale de 3,15 Kg CO₂ / L (le plus restrictif), nous obtenons les valeurs ci-dessous :

Traction Diesel - consommation unitaire		
Vitesse maximale (Km/h)	Pente (%)	Taux d'émission (gCO ₂ / t.Km)
100	0	14,175
40	5	14,175
20	10	18,9
20	15	25,2
20	20	29,925
20	25	36,225

Pour un train de 1000 t, d'une vitesse maximal de 100 km/h sur une pente nulle, nous obtenons respectivement selon les trois sources :

- **Source 1: 12.14 gCO₂ / t.Km**
- **Source 2: 14.01 gCO₂/ t.Km**
- **Source 3: 14.18 gCO₂/ t.Km**

Les valeurs restent assez proches. Pour le calcul final, nous garderons la valeur la plus restrictive de **14,18 gCO₂ / t.Km**

6. Construction et maintenance de l'infrastructure

Pour ce chapitre, nous vous proposons de nous appuyer sur une étude réalisée par Niclas Svensson : *Energy Use and Carbon Dioxide Emissions From the Rail and Road Transport Systems: the Importance of Infrastructure (2006)* ainsi que le *guide des facteurs d'émissions de l'ADEME (2007)*.

L'étude analyse les consommations d'énergie sur 3 tronçons de rail ayant chacun un scénario de construction différent. Par exemple, dans le tronçon 3, le ballast n'est pas fabriqué sur place, l'énergie consommée pour son transport est donc plus importante (L'énergie consommée par le transport des matières premières varie selon les tronçons de 1% à 13%).

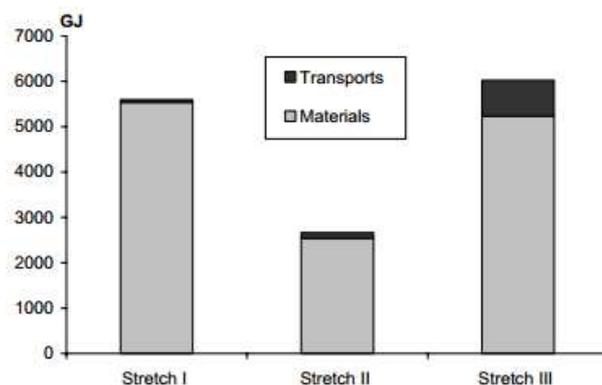


Figure 16 : Energies consommées entre le transport du matériel et sa fabrication selon 3 tronçons

Le graphique ci-dessous représente les différentes matières premières utilisées dans la construction ferroviaire.

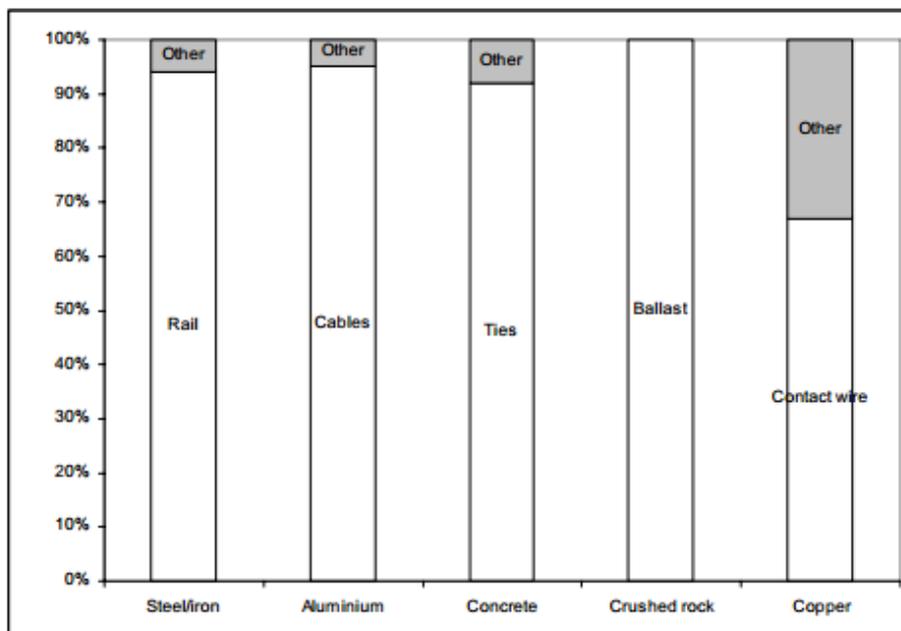


Figure 17 : Les 5 matières premières utilisées dans la construction ferroviaire et leurs utilisations majoritaires

La sidérurgie (steel/iron dans le graphique ci-dessus) représente 77,3 % des énergies consommées lors de la fabrication des matières premières. Cela est dû au laminage intensif du rail afin d'augmenter sa dureté.

Le ballast (pierre concassée), le béton et l'aluminium représentent respectivement 8,8%, 6,2% et 5,7% des énergies consommées.

Le fil caténaire ne représente que 1,3 kg de cuivre (ou d'alliage de cuivre) par mètre ce qui, malgré le fort contenu en CO₂ du cuivre et une fréquence de renouvellement plus élevée que celle du rail, entraîne une contribution aux émissions moindre devant celle du rail (1,7%).

Lors de la construction (fabrication de matière première et transport) d'un mètre de double rail, on obtient alors l'émission de 650 kg de CO₂.

Les émissions de CO₂ par mètre de voie sont à amortir sur la durée de vie de la voie. On estime à 600 M tonnes de passage sur une voie avant son renouvellement.

On obtient donc 1,08 gCO₂ / Km.t uniquement pour la construction. Les proportions d'énergies consommées dans un cycle de vie d'une voie ferrée sont de 80% liées à la construction et de 20 % à la maintenance courante de l'infrastructure. **On obtient le chiffre totale des émissions dues à l'infrastructure de 1,35 gCO₂ / Km.t.**

Dans le milieu ferroviaire, les émissions de CO₂ liées à la construction et la maintenance de l'infrastructure ne sont pas négligeables.

Aujourd'hui des études sont menées pour augmenter la durée de vie d'un rail, avec notamment des études sur une microstructure en aiguilles pour limiter les fissures.

Le Gestionnaire d'infrastructure français étudie également, via des stations de mesures, les tonnages par essieux supportés par le rail, la rotondité des roues, le parallélisme et différents défauts provoquant la fatigue du rail au passage du train.

7. Fabrication et entretien des véhicules roulants

Nous allons nous baser dans un premier temps sur une étude de Morten Simonsen du 11 mars 2009 : « *Energy requirements and co2-emissions from manufacturing and maintenance of locomotives and trains* ». Celle-ci analyse la composition de la locomotive F140 MS en séparant le calcul en 3 phases :

1. La phase amont de production des pièces en se basant sur les différents sites de production et intégrant la production des énergies, les transports et la fabrication

Material	kg	MJ/kg	Total energy (GJ)
Steel ¹⁴	58 059	22,8	1 324
Aluminium	5 009	175,9	881
Copper	7 867	48,9	385
PVC	2 958	56,2	166
Total	73 893		2 756

Figure 18 Décomposition des matériaux nécessaire à la fabrication des parties de la locomotive F140 MS

2. La maintenance des différentes parties tout au long de leur cycle de vie

Material	Kg	MJ/kg	Total energy in GJ
Steel	13 676	22,8	312
Aluminium	515	175,9	91
Copper	11	48,9	1
Total	14 202		403

Figure 19 Décomposition des matériaux nécessaires à la maintenance de la locomotive F140 MS

3. L'assemblage sur le site de production

Primary energy source	Wh/ tonne-km	Total energy in GJ
Oil	0,00094	20,5
Coal	0,00416	90,6
Nuclear power	0,00409	89,1
Natural gas	0,00181	39,4
Hydro power	0,00228	49,7
Total		289,3

Figure 20 Décomposition des matériaux nécessaire à l'assemblage de la locomotive F140 MS

Résultats obtenus : 569,8 t eqCO2

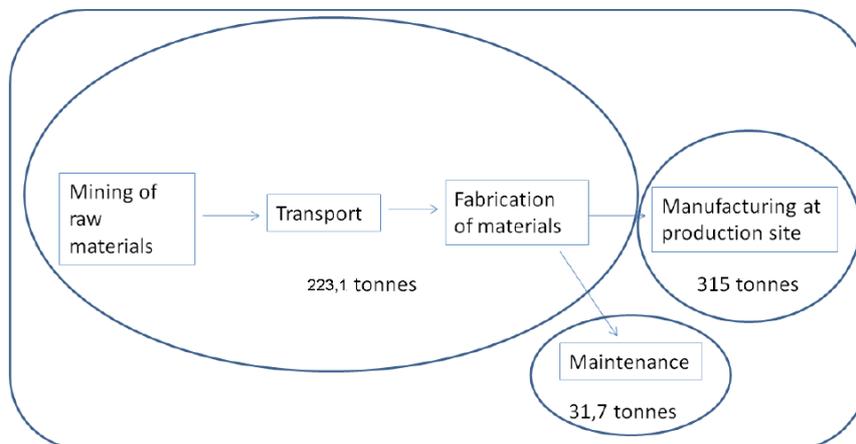


Figure 21 émissions totales de CO2 pour la fabrication de la locomotive F140 MS (en tonne eqCO2)

La durée de vie déclarée pour cette locomotive est de 30 ans pour environ 150 000 km/an. Nous obtenons donc la valeur de 0,12 gCO2 / t.km.

En se basant sur cette analyse, nous pouvons calculer les taux d'émissions de différentes locomotives.

Pour notre calcul, nous prendrons pour norme le type de locomoteur électrique PRIMA 4200 et BB 75000 pour le diesel. Les tonnages sont respectivement de 91 et 84 t. Le poids des wagons sera calculé en fonction du poids de la marchandise à transporter. Les temps de vie estimés sont de 6 M Km pour le PRIMA 4200, 4 M Km pour le BB 75000 et 1,5 M Km pour les wagons. Le temps de vie plus faible pour les wagons implique un taux plus élevé d'émissions par Km. Au vu de la diversité des types de wagon, il s'agit ici d'un ordre de grandeur. Une étude peut être réalisée en fonction de chaque type de wagon afin d'affiner la précision lors du calcul final. A noter ici qu'il s'agit des taux pour un train, c'est-à-dire que le pourcentage entre le tonnage des locomotives et des wagons par rapport au tonnage complet du train est déjà pris en compte dans les calculs (ici pour un train de 1000 t).

Nous obtenons donc un facteur de 0,15 gCO2 / Km.t pour le PRIMA 4200, 0,21 gCO2 / Km.t pour le BB 75000 et 1,1 gCO2 / Km.t pour les wagons.

A noter que la fabrication des véhicules roulant n'est pas négligeable dans le calcul total des émissions de CO2 du ferroviaire.

Autres Sources :

- Baumgartner, 2001 Baumgartner, J.P. (2001). Prices and costs in the railway sector. Laboratoire d'Intermodalité des Transports Et de Planification, Lausanne.
- Ademe, 2008 Efficacités énergétiques et environnementales des modes de transport - Synthèse publique - ADEME/Deloitte- Janvier 2008

8. Comparaison avec le transport routier

Concernant le calcul avec le mode routier, les données sources seront moins explicitées. Il s'agit ici d'avoir un ordre de grandeur des émissions de CO₂ afin de les comparer au mode ferroviaire.

L'objectif est d'arriver à comparer les émissions de CO₂ pour un tonnage et une distance donnée transportés par les deux modes.

Les efficacités énergétiques des modes de transport de marchandises varient selon la technologie des véhicules utilisés et leur taux de charge, mais aussi en fonction du territoire où sont réalisés les acheminements.

En ce qui concerne les poids lourds, les indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO₂ sont fortement fonction de la charge utile, de leur périmètre d'action (urbain, interurbain), des caractéristiques de conduite, de l'état du véhicule...

Ci-dessous, deux sources nous indiquent les indicateurs de consommations de CO₂ des transports routiers de marchandise :

Source 1 : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, information CO₂ des prestations de transport, Octobre 2012.

Porteur 19 tonnes PIAC - Messagerie (frigorifique) - Gazole routier/gazole non routier	302 g CO ₂ / t.km
Porteur 7,5 tonnes PIAC - Marchandises diverses - Gazole routier	750 g CO ₂ / t.km
Porteur 12 tonnes PTAC - Marchandises diverses - Gazole routier	409 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 26 tonnes PTRA - Grand volume - Gazole routier	156 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 35 tonnes PTRA - Porte-voitures - Gazole routier	189 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Marchandises diverses/longue distance - Gazole routier	84,0 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Marchandises diverses/régional - Gazole routier	83,0 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Grand volume - Gazole routier	93,1 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Avec groupe froid - Gazole routier/gazole non routier	98,7 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Benne IP - Gazole routier	105 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Benne céréalière - Gazole routier	99,5 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Porte-conteneur - Gazole routier	91,6 g CO ₂ / t.km
Ensemble articulé 40 tonnes PTRA - Citerne - Gazole routier	86,7 g CO ₂ / t.km
Fourgon 8 mètres cube - Déménagement - Gazole routier	175 g CO ₂ / m ³ .km

Figure 22 Indicateur de consommation unitaire de CO₂ pour le transport routier

Source 2 : VNF – ADEME, 2006, Etude comparative des efficacités énergétiques et des émissions unitaire de CO2 des modes de transport de marchandises.

Charge utile du poids lourd	Urbain		Interurbain	
	Consommation unitaire d'énergie [gep/t.km]	Emission unitaire de CO2 [g/t.km]	Consommation unitaire d'énergie [gep/t.km]	Emission unitaire de CO2 [g/t.km]
de 3 à 6,5 t	134,07	420,35	65,92	254,80
de 6,6 à 12,9 t	105,06	329,47	51,79	180,47
de 13 à 24,9 t	61,83	193,94	40,60	128,84
> 25 t	51,93	162,89	25,83	79,00

Figure 23 Indicateur de consommation unitaire de CO2 pour le transport de marchandises

On prendra, le taux le moins restrictif pour le mode routier, soit un taux de **79 g CO2 / Km.t** pour le Gazole routier regroupant les émissions lors de la combustion et la phase amont. Le taux correspond au taux moyen d'un 40 t qui est le transport le moins polluant par tonne du mode routier.

Concernant l'infrastructure, nous obtenons, selon le type de route, une moyenne de 2 M Kg CO2 par Km. Les routes françaises ont, en moyenne sur 30 ans, 125 M de passage de véhicule dont 25 M de poids lourds. Sur une durée de vie de 30 ans d'une route, on amortit les émissions de CO2 à un taux de **4 gCO2 / Km.t** pour un 40 t, soit un taux de 4.8 % des émissions totales.

Source : Centre d'Information sur le Ciment et ses applications, 2011, Analyse du cycle de vie des structures routières.

Le tableau ci-dessous indique, pour un kilomètre de route et pour différentes structures, les émissions de CO2 lors de la construction, l'entretien et la fin de vie.

Structures	Structure 1 BC5g/Bm	Structure 2 BAC/Bm	Structure 3 BAC/BBSG	Structure 4 BC5/ géotextile	Structure 5 BBTM/BAC/ GB ₃	Structure 6 BB/GB ₃ /GB ₃ Eurobitume	Structure 6 BB/GB ₃ /GB ₃ Oekoinventare
Production gaz à effet de serre:							
• Cycle construction, entretien et fin de vie (30 ans)	2,49.10 ⁻⁰⁶	2,77.10 ⁻⁰⁶	2,43.10 ⁻⁰⁶	2,71.10 ⁻⁰⁶	2,18.10 ⁻⁰⁶	1,49.10 ⁻⁰⁶	1,63.10 ⁻⁰⁶
• Phase d'utilisation	9,1.10 ⁻⁰⁷	9,1.10 ⁻⁰⁷	9,1.10 ⁻⁰⁷	9,1.10 ⁻⁰⁷	9,1.10 ⁻⁰⁷	9,1.10 ⁻⁰⁷	9,1.10 ⁻⁰⁷

Figure 24 : Production de CO2 (Kg) pour différentes structures routières

Pour la fabrication du véhicule, nous nous appuyons sur l'étude « Base Carbone » réalisée par l'Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME) en 2012.

Désignation OEET 2012	PTAC en tonne	Capacité de chargement en tonne	Durée de vie en km	Poids à vide en tonne	Fabrication en CO2e	Fabrication gCO2e/km
PTAC 3,5 tonnes	3,5 t	1,3 t	300 000 km	2,2 t	12,1 tCO2e	40,3 gCO2e/km
PTAC 3,5 tonnes	3,5 t	1,3 t	300 000 km	2,2 t	12,1 tCO2e	40,3 gCO2e/km
Porteur PTAC 19 tonnes	19,0 t	10,0 t	550 000 km	9,0 t	49,5 tCO2e	90,0 gCO2e/km
Ensemble articulé 40 tonnes frigorifique	40,0 t	22,0 t	750 000 km	18,0 t	99,0 tCO2e	132,0 gCO2e/km
Porteur PTAC 19 tonnes frigorifique	19,0 t	8,5 t	550 000 km	10,5 t	57,8 tCO2e	105,0 gCO2e/km
Porteur 7,5 t	7,5 t	3,0 t	380 000 km	4,5 t	24,8 tCO2e	65,1 gCO2e/km
Porteur 12 t	12,0 t	6,0 t	480 000 km	6,0 t	33,0 tCO2e	68,8 gCO2e/km
Ensemble articulé 26 tonnes	26,0 t	12,0 t	750 000 km	14,0 t	77,0 tCO2e	102,7 gCO2e/km
Ensemble articulé 35 tonnes	35,0 t	15,0 t	750 000 km	20,0 t	110,0 tCO2e	146,7 gCO2e/km
Ensemble articulé 40 tonnes	40,0 t	25,0 t	750 000 km	15,0 t	82,5 tCO2e	110,0 gCO2e/km
Fourgon 8 m3	3,5 t	8,0 t	250 000 km	2,2 t	12,1 tCO2e	48,4 gCO2e/km
Porteur 45 m3	19,0 t	45,0 t	550 000 km	10,5 t	57,8 tCO2e	105,0 gCO2e/km
Ensemble articulé 90 m3	40,0 t	90,0 t	750 000 km	15,0 t	82,5 tCO2e	110,0 gCO2e/km

Figure 25 : Facteurs d'émissions pour la fabrication d'un véhicule routier

Nous avons ici, pour un 40 t, un taux de 2,7gCO₂ / Km.t (Calcul sur le tonnage complet).

Cette source précise néanmoins les remarques suivantes :

Les marges d'incertitude sur ces données sont les suivantes :

- 10% sur les poids moyens à vide (erreur provenant d'un biais statistique sur l'échantillon étudié),
- 50% sur les émissions de fabrication du camion par unité de poids (soit une fourchette de 2,57 tonne de CO₂e à 8,25 tonnes de CO₂e/tonne de camion),
- 10% sur les kilométrages moyens parcourus par les véhicules avant d'être mis au rebut (cette donnée découle de l'observation).

La part liée à la construction sera donc affectée d'une incertitude de 70%, sauf pour les utilitaires les plus légers (PTAC < 2,5 tonnes) pour lesquels nous conserverons les barres d'erreur de l'automobile, soit 40%. Dans tous les cas de figure il s'agit clairement d'un ordre de grandeur, qu'il serait utile de préciser en procédant aux investigations appropriées.

Afin d'analyser cette marge d'erreur, nous pourrions prendre en compte une étude de Philippe Cotte et Grégory Launay « Que nous apprend "l'Analyse de Cycle de Vie" d'une automobile ? » réalisée en 2010.

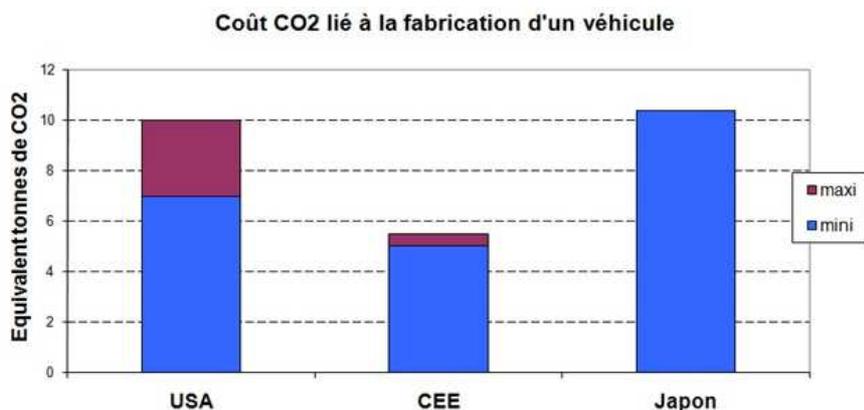


Figure 26 : émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication d'un véhicule automobile

Nous obtenons ici un taux de 5,5 t de CO₂ pour une masse moyenne des véhicules de 1260 Kg soit 4,4 tCO₂ / t à la construction. Avec un poids à vide de 15 t et une durée de vie de 750 000 Km, nous obtenons donc un taux de 2,2gCO₂ / Km.t (Calcul sur le tonnage complet de 40t). Les deux taux restent relativement proches.

Ce taux variant autour de 1% à 3% des émissions totales de CO₂ lors d'un transport routier, les approximations évoquées sont acceptables.

9. Finalisation du calcul

Nous prendrons pour notre calcul un train entre Dunkerque et Sibelin sur le trajet suivant :

- 1- Desserte à Dunkerque : environ 10 km - Diesel
- 2- Dunkerque > Woippy : 445 km - Electrique
- 3- Woippy > Sibelin : 500 km - Electrique
- 4- Desserte Venissieux : environ 2 km - Diesel

Nous prendrons comme hypothèse ne pente nulle sur tout le parcours, une masse à transporter de 600 t et un poids total du train de 1000 t (l'hypothèse d'une pente nulle est ici réductrice, pour prendre en compte celle-ci on pourra utiliser les données décrites §4 et §5).

Les plans de transport étant relativement complexes dans les deux cas. Nous pourrions estimer que le retour à vide occupe la même proportion dans les deux modes de transport. Le calcul présenté ne prend pas en compte celui-ci. Nous pourrions envisager par la suite de pouvoir calculer les différentes proportions entre les trajets à vide et chargés via les outils informatiques.

Le transport, par le mode routier, sur le même parcours correspond à une distance de 767 Km (selon logiciel de calcul d'itinéraire). Avec la même charge à transporter (600 t), 19 convois seront nécessaires, soit une masse totale de 750 t.

Nous obtenons alors les résultats suivant :

Transport Routier						
Distance (km)		tonnage marchandise (t)	tonnage (t)	Emission CO2 (Kg CO2)		%
767		600	750	45444,75	Energie	94,15
				2301,00	infrastructure	4,77
				525,15	Matériel	1,09
				48270,90	Total	
X 3,46						
Transport Ferroviaire						
Distance electrique (Km)	Distance diésel (Km)	tonnage marchandise (t)	tonnage total (t)	Emissions CO2 (Kg CO2)		%
945	12	600	1000	11717,97	Energies	83,98
				1198,55	abrication matéri	8,59
				1036,75	Infrastructure	7,43
				13953,26	total	

Lorsque l'on compare les deux modes de transport, le ratio minimal de 3,46

Ce ratio peut cependant rapidement augmenter en modifiant nos critères.

Pour le ferroviaire : nous pouvons regarder la variation des émissions avec un fournisseur d'énergie peu couteux en CO2 (le cas du fournisseur EDF par exemple) :

Transport Routier						
Distance (km)		tonnage marchandise (t)	tonnage (t)	Emission CO2 (Kg CO2)		%
767		600	750	45444,75	Energie	94,15
				2301,00	infrastructure	4,77
				525,15	Matériel	1,09
				48270,90	Total	
Transport Ferroviaire						
Distance électrique (Km)	Distance diésel (Km)	tonnage marchandise (t)	tonnage total (t)	Emissions CO2 (Kg CO2)		%
945	12	600	1000	720,06	Energies	24,36
				1198,55	abrication matéri	40,56
				1036,75	Infrastructure	35,08
				2955,35	total	

X 16,34

Le ratio entre les deux modes est alors de 16,34.

Pour le routier : Les émissions augmentent très rapidement lorsque la capacité de chargement diminue. Nous prendrons un porteur de 12 t dans le calcul ci-dessous :

Transport Routier						
Distance (km)		tonnage marchandise (t)	tonnage (t)	Emission CO2 (Kg CO2)		%
767		600	900	282332,70	Energie	98,85
				2761,20	infrastructure	0,97
				525,15	Matériel	0,18
				285619,05	Total	
Transport Ferroviaire						
Distance électrique (Km)	Distance diésel (Km)	tonnage marchandise (t)	tonnage total (t)	Emissions CO2 (Kg CO2)		%
945	12	600	1000	11717,97	Energies	83,98
				1198,55	Matériel	8,59
				1036,75	Infrastructure	7,43
				13953,26	total	

X 20,5

Le ratio entre les deux modes est alors de 20,5.

Nous pouvons nous intéresser également à un trajet où la distance réalisée en diesel est plus élevée. Ici, le diesel représente 30% du trajet :

Transport Routier						
Distance (km)		tonnage marchandise (t)	tonnage (t)	Emission CO2 (Kg CO2)		%
100		600	750	5925,00	Energie	94,15
				300,00	infrastructure	4,77
				68,47	Matériel	1,09
				6293,47	Total	
Transport Ferroviaire						
Distance électrique (Km)	Distance diésel (Km)	tonnage marchandise (t)	tonnage total (t)	Emissions CO2 (Kg CO2)		%
70	30	600	1000	1280,79	Energies	84,48
				126,92	Matériel	8,37
				108,33	Infrastructure	7,15
				1516,04	total	

X 4,2

Le ratio entre les deux modes est alors de 4,2.

Les différents critères qui interviennent dans notre calcul font rapidement varier les émissions de CO2 du mode ferroviaire comme du mode routier.

Il apparait évident que pour le mode routier, la capacité de chargement et le type de carburant sont les critères majeurs pour la réduction des émissions de CO2.

Nous retiendrons, pour le mode ferroviaire, 3 critères majeurs :

- **Le fournisseur d'électricité**
- **Les optimisations de consommation électrique**
- **La distance parcourue non électrique**

L'optimisation des plans de transport permettant de réduire les trajets à vides étant un enjeu important pour les deux modes.

10. Conclusion

Ci-dessous les procédés à intégrer dans les calculs selon l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) pour le transport ferroviaire :

- La **répartition électrique / diesel** est une donnée générique par continent.
- Les **mix électriques** à utiliser sont des mix de production nationaux et continentaux représentatifs des chemins de fer.
- Les **infrastructures** doivent être prises en compte.
- L'**unité** des procédés est la tonne.km

Les consommations d'électricité devront être désagrégées afin de pouvoir les lier aux mix électriques adéquats.

Lors de notre étude, les procédés ci-dessus ont bien été pris en compte.

Aujourd'hui Cereza travaille avec ses clients sur plusieurs axes permettant de réduire l'empreinte énergétique du transport :

Dans le domaine du transport ferroviaire :

- en proposant des **outils de planification ferroviaire** pour optimiser les transports, limiter les voyages à vide, optimiser l'utilisation du matériel roulant
- en construisant les outils de **télé-relève énergétique** pour les trains et l'exploitation de ces données par nos systèmes d'informations
- en participant à la mise en œuvre de stations de mesure et de contrôle sur le réseau d'infrastructure pour **améliorer la maintenance et prévenir l'usure**
- en organisant des travaux de collecte de mesure et de **partages de référentiels** pour améliorer la connaissance des infrastructures (connaissance des pentes, des kilomètres, des contraintes de conduite) et les calculs de consommation énergétique et de CO2
- en **dématérialisant** les documents et les échanges du transport

Dans le domaine du transport routier :

- en proposant des outils et des algorithmes **pour optimiser les tournées de dessertes** et les chargements