

Méthodes de calculs des émissions de CO₂ et autres impacts sur l'effet de serre des transports

1 INTRODUCTION

En 2022, le secteur des transports en France a généré 130,5 millions de tonnes de CO₂ équivalent (MtCO₂eq), représentant 32 % des émissions nationales de gaz à effet de serre (GES). Cette empreinte carbone provient principalement de l'utilisation de carburants fossiles dans les trains, voitures et avions.

Qu'est-ce que l'empreinte carbone ?

L'empreinte carbone est un indicateur, exprimé en CO₂ équivalent (CO₂e) ou en tonnes de CO₂ équivalent (tCO₂eq), qui mesure la quantité de GES émise par une activité et son impact environnemental. Elle peut être évaluée pour un pays, une entreprise, un individu, ou un secteur d'activité spécifique, tel que le transport ou l'aviation.

Calculer l'empreinte carbone d'un produit ou d'un mode de transport permet d'identifier les sources principales d'émissions de GES et de mettre en place des actions pour les réduire. Cette démarche contribue aux objectifs de neutralité carbone de la France.

2 LA METHODOLOGIE PAR MOYEN DE TRANSPORTS

2.1 AVION

Le secteur de l'aviation est l'un des principaux contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre liées aux transports. Pour propulser un avion, le carburant utilisé est le kérosène, un dérivé du pétrole brut. Lorsqu'il est brûlé, ce carburant libère des particules nocives, notamment le dioxyde de carbone (CO₂), les oxydes d'azote (NO_x) et des particules fines. Ces émissions sont responsables d'une part importante de l'impact environnemental de l'aviation.

La consommation de kérosène dépend principalement de la taille et du type d'avion, ainsi que des différentes phases de vol. Le décollage, par exemple, est particulièrement énergivore, ce qui explique pourquoi les vols court-courriers sont proportionnellement plus polluants par kilomètre parcouru que les vols long-courriers.

Un autre aspect souvent sous-estimé concerne les traînées de condensation visibles derrière certains avions. Ces traînées, formées par de la vapeur d'eau sous certaines conditions de température, d'humidité et de pression, contribuent fortement au réchauffement climatique. Leur impact

climatique est parfois supérieur à celui du CO₂, bien que leur formation soit très variable : certains vols n'en produisent aucune, tandis que d'autres en génèrent abondamment. En général, ces traînées sont plus fréquentes et persistantes la nuit ou en hiver, ce qui accentue leur effet de réchauffement.

Les émissions moyennes de CO₂ par passager, calculées en fonction de la distance du vol et basées sur la Base Carbone de l'ADEME, sont les suivantes :

- **Pour des distances de 500 à 1000 km** : environ 141 gCO₂e/km/passager (sans traînées), et 258 gCO₂e/km/passager (avec traînées).
- **Pour des distances de 1000 à 3500 km** : environ 103 gCO₂e/km/passager (sans traînées) et 187 gCO₂e/km/passager (avec traînées).
- **Pour des distances supérieures à 3500 km** : environ 83,2 gCO₂e/km/passager (sans traînées) et 152 gCO₂e/km/passager (avec traînées).

Enfin, le type de siège réservé influence également l'impact environnemental d'un vol. Voyager en classe économique, où l'espace par passager est optimisé, permet de réduire l'empreinte carbone par personne. À l'inverse, un avion rempli de passagers en première classe transportera moins de personnes, ce qui augmentera les émissions de gaz à effet de serre par passager. Dans ce cas-ci, les valeurs obtenues sont celles pour un siège en classe économique.

Sources :

- Base Carbone ADEME
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Tra%C3%AEn%C3%A9e_de_condensation#Effets_sur_le_climat
- <https://www.carbone4.com/trainees-de-condensation-impact-climat>
-

2.2 TRAIN

Une part significative des trains en service aujourd'hui fonctionne grâce à l'électricité, tandis qu'une minorité utilise encore le diesel. En France, le réseau ferroviaire national est exploité par la SNCF, qui propose divers types de trains classés comme suit :

- **TGV** (Train à Grande Vitesse)
- **TER** (Train Express Régional)
- **Intercités**

Le site de la SNCF fournit des estimations des émissions moyennes de CO₂ pour chaque catégorie de train, exprimées en grammes de CO₂ équivalent par kilomètre et par passager. Voici les résultats :

- **TGV** : 2 gCO₂e/km/passager
- **TER** : 19,4 gCO₂e/km/passager
- **Intercités** : 4,9 gCO₂e/km/passager

Ces valeurs sont calculées en divisant les émissions totales de chaque type de train par le nombre total de passagers transportés et les kms parcourus. Un taux d'occupation moyen est donc supposé.

Les trains électriques affichent de faibles émissions de CO₂, principalement grâce à la composition du mix énergétique français, largement décarboné (80 % d'énergie nucléaire et 19 % d'énergies renouvelables). En revanche, les TER ont un impact environnemental plus élevé, certains d'entre eux fonctionnant encore au diesel, qui émet jusqu'à neuf fois plus de CO₂ qu'un TER électrique.

À l'échelle internationale, peu de compagnies ferroviaires fournissent des données aussi détaillées sur leurs émissions de CO₂. Cependant, les ordres de grandeur semblent similaires à ceux observés pour la SNCF. Ainsi, pour les trains longue distance fonctionnant à l'électricité, des estimations comparables peuvent être utilisées en première approximation.

Sources :

- https://www.francetvinfo.fr/economie/transports/sncf/pourquoi-des-trains-carburent-ils-toujours-au-diesel-en-france_4058635.html
- <https://www.groupe-sncf.com/fr/engagements/developpement-durable/preserver-planete/calcul-empreinte-carbone>
- <https://www.sj.se/om-sj/hallbarhet/hallbara-resor>
- <https://nachhaltigkeit.deutschebahn.com/en/measures/co2compass>
- <https://www.vy.no/en/the-vy-group/sustainability-and-social-responsibility>
-

2.3 VOITURE

À l'échelle nationale, le transport automobile représente 15 % des émissions de CO₂. Pour évaluer correctement ces émissions, plusieurs paramètres doivent être pris en compte :

- La catégorie de la voiture,
- Le type de motorisation,
- Le nombre de passagers,
- La nature de la route empruntée.

Par exemple, les embouteillages entraînent une pollution nettement plus élevée qu'une conduite sur autoroute, où le trafic est généralement fluide.

Il est intéressant de noter que les voitures diesel émettent environ 20 % moins de CO₂ que les voitures essence, en raison d'une meilleure efficacité énergétique de leur moteur. Cependant, les moteurs diesel libèrent d'autres polluants, tels que les particules fines (PM₁₀, PM_{2.5}) et les oxydes d'azote (NO_x), qui, bien qu'ayant un impact limité sur le climat, posent de graves risques pour la santé, notamment en milieu urbain. Il convient de préciser que les calculs mentionnés ici ne tiennent compte que des émissions de gaz à effet de serre, et non des autres polluants.

Pour chaque catégorie de voiture, un modèle de référence sera utilisé pour estimer les émissions de CO₂, basées sur les résultats du test WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure), qui est la méthode officielle d'évaluation des émissions pour les véhicules récents. Pour refléter les

conditions réelles de conduite (comme l'usage de la climatisation, le chauffage, les variations de température, le vent, ou encore une conduite agressive), un coefficient correcteur de 1,2 sera appliqué aux résultats WLTP.

Catégorie	Petite	Moyenne	Grande	Petite	Moyenne	Grande
Motorisation	Essence	Essence	Essence	Electrique	Electrique	Electrique
Modèle type	Renault Twingo 3	Renault Mégane 4	Renault Espace 5	BMW I3	Peugeot e-208	Audi Q8 Sportback e-tron
Emissions de CO2 ou consommation d'électricité (WLTP)	104gCO2e/km	134gCO2/km150	152gCO2/km	14 kWh/100km	20 kWh/100km	22 kWh/100km

En 2023, les émissions spécifiques de carbone liées à la production d'électricité en France sont de 11 gCO2/kWh. Cette valeur sera utilisée pour estimer les émissions des véhicules électriques.

Sources :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Renault_Twingo_III
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Renault_M%C3%A9gane_IV
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Renault_Espace_V
- <https://www.audi.fr/fr/web/fr/univers-audi-electrique/autonomie-et-recharge.html>
- <https://youmatter.world/fr/categorie-economie-business/diesel-essence-pollution-co2-particules-fines/>
- <https://www.edf.fr/groupe-edf/produire-une-energie-respectueuse-du-climat>

Un nouveau coefficient est ensuite appliqué pour prendre en compte la nature de la route empruntée :

- Conduite en ville : 1.15,
- Conduite sur routes mixtes : 1,
- Conduite sur autoroute : 0.85.

Le calcul des émissions se fait de la manière suivante : pour chaque type de véhicule et sa taille, on sélectionne des valeurs moyennes d'émissions de CO2e/km. Cette valeur est ensuite divisée par le nombre de passagers, afin d'obtenir une estimation des émissions par kilomètre et par passager (en gCO2e/km/passager). Par la suite, des coefficients multiplicateurs sont appliqués pour affiner le calcul selon plusieurs paramètres :

- Le type de route empruntée,
- Un coefficient ajustant les valeurs de test WLTP aux conditions réelles de conduite (incluant des facteurs comme la climatisation, le chauffage, ou une conduite plus nerveuse).

Pour les voitures électriques, les valeurs de consommation en kWh sont converties en gCO₂e, en utilisant le mix énergétique moyen (exprimé en gCO₂e/kWh).

Quant aux voitures diesel, les valeurs d'émissions des véhicules à essence sont réduites de 20 % (multiplication par 0,8) pour tenir compte d'un impact climatique légèrement inférieur.

Finalement, il est également important de souligner que les calculs actuels ne tiennent pas compte des émissions associées à la production et au recyclage des voitures en fin de vie. Ces postes d'émissions sont généralement plus significatifs pour une voiture électrique que pour un véhicule à moteur essence ou diesel. Néanmoins, même en intégrant ces facteurs, l'empreinte climatique globale d'une voiture électrique reste inférieure à celle d'une voiture thermique.

2.4 AUTOCAR

Afin de déterminer l'impact climatique des trajets longues distances en autocar, la méthode la plus simple consiste à diviser la consommation moyenne d'un bus thermique par le nombre moyen de passagers transportés.

Selon le rapport de VY (société de transport norvégienne), un bus thermique consomme en moyenne 27 gCO₂e/km par passager, en se basant sur un taux d'occupation moyen. Cette estimation est corroborée par les données de l'ADEME, qui indiquent une valeur de 25 gCO₂e/km/passager.

Sources :

- <https://www.vy.no/en/the-vy-group/sustainability-and-social-responsibility>
- <https://impactco2.fr/outils/transport/autocar>

2.5 FERRY

En cours de construction...