MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES
Liberté
Égalité
Fraternité

NOTE
MÉTHODOLOGIQUE

Calcul des émissions de gaz à effet de serre dans l'enquête mobilité des personnes 2019

Juillet 2023

Mise à jour en septembre 2023

Résumé

Cette note présente la méthode utilisée pour enrichir l'enquête mobilité des personnes 2019 d'une estimation des émissions de gaz à effet de serre liées aux déplacements. Elle détaille les hypothèses retenues mode par mode pour la méthode dite « du réservoir à la roue » ainsi que les coefficients alternatifs sous l'hypothèse d'une prise en compte également des émissions liées à la production de carburant et des effets non-CO_2 de l'aviation (notamment liés aux traînées de condensation des avions). La répartition des émissions par mode de transport est présentée sous les deux hypothèses. Les émissions des déplacements issus de l'enquête mobilité des personnes ont fait l'objet d'une publication dans la collection Datalab Essentiel en juillet 2023 *(Le quart des ménages les plus aisés à l'origine de 35 % des émissions de gaz à effet de serre des mobilités)* et sont diffusées dans les fichiers de l'enquête mis en open data sur le site du SDES.

Auteurs

Florian LEZEC – SDES*

Fabien PEREZ– SDES

Corentin TREVIEN – SDES*

** En poste au SDES au moment de la rédaction de cette note.*

Sommaire

1. Méthodologie et synthèse des paramètres 5
2. Répartition des émissions par mode de transport 8
3. Méthodologie détaillée par mode 10
   I. Deux-roues motorisé 10
   II. Voiture 11
   III. Taxi et VTC 13
   IV. Transport spécialisé (handicap) 14
   V. Bus et car 14
   VI. Tramway, métro et navette fluviale 16
   VII. Train (TER, TGV, Intercités, Transilien) 16
   VIII. Avion 17
   IX. Bateau 20

1. Méthodologie et synthèse des paramètres

Plusieurs méthodes sont envisageables pour rendre compte des émissions de gaz à effet de serre (GES) des transports. Cette note présente les conventions retenues pour enrichir l'enquête mobilité des personnes (EMP) 2019 en matière d'émissions de GES.

Sont comptabilisées les émissions de tous les gaz à effet de serre (GES) - et pas seulement celles de CO_2 - liées à la combustion de carburants au cours des déplacements. Ces émissions, dites « du réservoir à la roue », ne prennent donc pas en compte les autres émissions, directement ou indirectement imputables aux mobilités :

- les émissions amont liées à production de l'énergie utilisée (raffinage, production d'électricité) ; en particulier, les véhicules électriques sont donc considérés comme non émetteurs ;
- les émissions des biocarburants, conformément aux conventions internationales de comptabilité carbone[1] ;
- les émissions amont liées à la construction des véhicules et des infrastructures de transport ;
- les effets non-CO_2 de l'aviation (traînées de condensation notamment).

Les émissions unitaires, c'est-à-dire la quantité de gaz à effet de serre émise pour un déplacement d'un kilomètre, sont déterminées à partir de la base empreinte de l'Ademe pour les déplacements en deux-roues motorisé, en avion, en navette fluviale, en métro/funiculaire, en tramway. Dans les autres cas, des paramètres alternatifs ont été utilisés :

- voiture : l'appariement des véhicules recensés dans l'enquête avec le répertoire statistique des véhicules routiers (RSVERO) permet de prendre en compte avec plus de précision l'hétérogénéité des émissions entre véhicules ;
- TER, transilien, intercité : les données de la SNCF sont mobilisées, permettant de tenir compte des émissions des trains diesel ;
- bus et car : plusieurs sources de données ont été testées pour s'assurer de la robustesse des paramètres, les paramètres sélectionnés s'appuient sur le *Bilan annuel des transports* et Copert ;
- bateau : des données officielles du Royaume-Uni sur le trafic transmanche sont utilisées, en l'absence de paramètre à jour dans la base empreinte pour les ferrys.

Les informations collectées par l'EMP ne permettent pas de prendre en compte la multimodalité pour le calcul des émissions, c'est-à-dire l'utilisation de plusieurs modes de transport différents au cours d'un même déplacement. On applique donc les émissions unitaires du mode de transport principal à l'ensemble du déplacement.

[1] *Rapport Ominea 20e édition*, 2023, page 87, https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/ominea/OMINEA_2023.pdf

Le tableau 1 détaille les émissions unitaires retenues pour l'évaluation « du réservoir à la roue » (hors amont lié à la production d'énergie, hors émissions liées à la construction des véhicules et infrastructures, hors effets non-CO_2 de l'aviation – colonne 2). Les émissions unitaires incluant l'amont lié à la production d'énergie et, pour le transport aérien, les effets non-CO_2 (notamment liés aux traînées de condensation) sont également présentées (colonne 3) afin de permettre une version alternative des calculs d'émission.

Tableau 1 : émissions unitaires et méthode de calcul retenu en fonction du mode

	Émission unitaire (en gCO_2e/km)		Méthode utilisée
Mode de transport	« Du réservoir à la roue »	« Du réservoir à la roue » avec amont lié à la production d'énergie et effets non-CO_2 de l'aviation	
Mode actif	0	0	Pas d'émissions en utilisation
Deux-roues motorisé (2RM)	52 (cyclomoteur), 50 (moto <250 cm^3) 135 (moto >250 cm^3) + taux d'occupation	64 (cyclomoteur) 60 (moto <250 cm^3) 165 (moto >250 cm^3) + taux d'occupation	- Base empreinte Ademe - Identification du type de 2RM avec les données véhicules ou, à défaut, avec le type de déplacement - Prise en compte du taux d'occupation (1,3 en mobilité locale et 1,44 en longue distance)
Voiture et véhicule utilitaire léger (VUL)	Variable : 162 en moyenne en mobilité locale 156 en longue distance + taux d'occupation	Variable : 200 en moyenne en mobilité locale 193 en longue distance + taux d'occupation	- Répertoire statistique des véhicules routiers, corrigé par les données spritmonitor.de - Calcul SDES des surémissions à froid d'après Copert - Prise en compte du taux d'occupation
Taxi et VTC	164	196	- Répertoire statistique des véhicules routiers en fonction des catégories T3P du contrôle technique - Pas de prise en compte du taux d'occupation
Transport spécialisé (handicap)	225	269	Calculs SDES à partir du *Bilan annuel des transports* et inventaire Citepa (émissions unitaires VUL en 2019)

Ramassage employeur ou scolaire, autocars	39	49	Calculs SDES à partir du *Bilan annuel des transports* et Copert
Autobus	83	104	
Navette fluviale	51	64	Base empreinte Ademe
Tramway	0	3	Données SNCF
Métro	0	4	Données SNCF
RER, Transilien	1	7	Calcul SDES à partir de données SNCF
TER	16	27	Calcul SDES à partir de données SNCF
Autres transports urbains et régionaux	19 (mobilité locale) 41 (longue distance)	28 (mobilité locale) 51 (longue distance)	Moyenne pondérée des transports urbains et régionaux
TGV	0	7	Calcul SDES à partir de données SNCF
Autre train grande ligne (assimilé à Intercités)	2	7	Calcul SDES à partir de données SNCF
Train (sans précision)	10 (mobilité locale) 1 (longue distance)	18 (mobilité locale) 4 (longue distance)	Moyenne pondérée des TGV, TER et Intercités
Avion	117 (court) 84,7 (moyen) 68,7 (long)	258 (court) 187 (moyen) 152 (long)	Base empreinte Ademe
Bateau	113	138	Données officielles Royaume-Uni
Autre	102 (mobilité locale) 67 (longue distance)	122 (mobilité locale) 115 (longue distance)	Moyenne pondérée de l'ensemble des autres modes

2. Répartition des émissions par mode de transport

Le tableau 2 présente la part de chaque mode de transport dans les émissions totales selon les deux méthodes : la méthode « du réservoir à la roue » ; la méthode « du réservoir à la roue » complétée de la prise en compte de l'amont lié à la production d'énergie et des effets non-CO_2 de l'aviation (notamment liés aux traînées de condensation).

Tableau 2 : répartition des émissions par mode de transport selon la méthode « du réservoir à la roue » et avec prise en compte de l'amont lié à la production d'énergie et des effets non-CO_2 de l'aviation (notamment liés aux traînées de condensation)

En %	« Du réservoir à la roue »			« Du réservoir à la roue » avec amont lié à la production d'énergie et effets non-CO_2 de l'aviation		
Mode de transport	**Mobilité locale**	**Longue distance**	**Total**	**Mobilité locale**	**Longue distance**	**Total**
Mode actif	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2RM	1,0	0,2	0,7	1,0	0,1	0,6
Voiture	95,2	44,9	77,5	94,9	32,0	67,8
Taxi/VTC	0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3
Transport spécialisé	0,8	0,3	0,7	0,8	0,2	0,5
Car	0,6	1,2	0,8	0,6	0,9	0,7
Bus	1,1	0,1	0,8	1,1	0,1	0,7
Navette fluviale	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tramway	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Metro/Funiculaire	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RER/Transilien	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
TER	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Autres transports urbains et régionaux	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

TGV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
Intercité	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Autre train	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Avion	0,0	50,5	17,7	0,0	64,3	27,7
Bateau	0,1	1,9	0,7	0,1	1,3	0,6
Autre	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Lecture : sans prise en compte de l'amont et des effets non-CO_2, l'avion représente 50,5 % des émissions des déplacements sur longue distance.
Champ : France métropolitaine.
Source : *Insee-SDES, enquête mobilité des personnes 2019*

3. Méthodologie détaillée par mode

Cette partie détaille les choix méthodologiques et calculs pour les différents modes de transport.

I. Deux-roues motorisé

Les paramètres retenus sont issus de la Base carbone de l'Ademe :

- cyclomoteurs : 52 gCO_2e/km ;
- motos dont la cylindrée est inférieure à 250 cm^3 : 50 gCO^2e/km ;
- motos dont la cylindrée est supérieure à 250 cm^3 : 135 gCO_2e/km.

Pour associer ces émissions unitaires aux déplacements locaux de l'EMP :

- sont prioritairement utilisées les informations sur les véhicules (variable 'KVCYLIND2R' pour la cylindrée et 'KVAVCAT2R' pour la catégorie de véhicule) ; motos dont la cylindrée est inférieure à 250 cm^3 : 50 gCO_2e/km ;
- puis en cas d'information manquante sur la catégorie du véhicule, le type de déplacement est mobilisé, ce qui permet uniquement de distinguer les cyclomoteurs des motos.

Pour les déplacements effectués en moto, sans indication de cylindrée, c'est la moyenne des émissions unitaires des deux types de motos, pondérées par la part respective dans les distances parcourues qui est utilisée, soit 100 gCO_2/km. Pour les déplacements sans aucune indication sur le type de véhicule utilisé, la moyenne pondérée des émissions unitaires des trois types de 2RM est mobilisée, soit 91 gCO_2/km.

Pour les déplacements longue distance, les informations sur les véhicules ne sont pas disponibles. Les émissions sont estimées uniquement à partir du type de déplacement.

L'émission unitaire du déplacement est obtenue en divisant l'émission unitaire des véhicules par le taux d'occupation (en moyenne 1,3 en mobilité locale et 1,44 en longue distance).

II. Voiture

Le calcul des émissions unitaires des voitures s'appuie sur l'appariement du répertoire statistique des véhicules routiers (RSVERO) et de l'EMP, grâce au numéro d'immatriculation du véhicule. Les émissions unitaires du RSVERO obtenues sont ensuite ajustées pour tenir compte des surémissions à froid.

A. Répertoire statistique des véhicules routiers

Le RSVERO contient l'ensemble des véhicules immatriculés en France et, pour une bonne partie d'entre eux, les émissions de GES à l'homologation. Les valeurs homologuées étaient sous-évaluées, notamment lorsqu'elles étaient calculées selon la norme NEDC en vigueur avant le 1er mars 2020, et l'écart avec les valeurs réelles a augmenté dans le temps selon les travaux de l'*International Council on Clean Transportation*.

Pour obtenir une mesure réaliste et homogène dans le temps des émissions de GES des voitures, l'étude s'appuie sur l'appariement du RSVERO et des données de consommation réelles issues du site collaboratif allemand spritmonitor.de, s'appuyant sur les relevés de plus de 700 000 automobilistes. Les émissions de GES sont ensuite estimées à partir du contenu carbone de chaque carburant issu de la Base empreinte de l'Ademe. En comparaison des émissions unitaires homologuées, les valeurs redressées, combinées aux distances annuelles parcourues par chaque voiture issue du RSVERO, aboutissent à une mesure des émissions totales proches de celles de l'inventaire Secten-Citepa. Pour supprimer le léger écart subsistant, les émissions unitaires moyennes des voitures diesel et essence entre 2011 et 2019 sont calées sur les niveaux de l'inventaire.

B. Enquête mobilité des personnes

Le répertoire statistique RSVERO enrichi des estimation d'émissions unitaires est ensuite apparié avec l'enquête mobilité des personnes 2019. Pour 72,5 % de distances en mobilité locale et 66,3 % des longues distances, l'émission unitaire de la voiture a été retrouvée dans le RSVERO. L'appariement n'a pas été possible quand le ménage n'a pas fourni le numéro d'immatriculation de ses véhicules dans l'enquête ou quand le véhicule utilisé n'est pas identifié (voiture de location, appartenant à un autre ménage, etc.).

Pour les véhicules utilitaires légers (VUL) thermiques (4,2 % des distances en mobilité locale et 3,4 % des longues distances), les émissions unitaires calculées à partir du *Bilan annuel des transports* pour 2018-2019 sont appliquées, à savoir 225 gCO_2e/km, les émissions unitaires n'étant pas disponibles dans le RSVERO pour ce type de véhicules.

Pour les déplacements restants :

- quand certaines caractéristiques du véhicule sont connues, l'émission unitaire est imputée à partir de la puissance fiscale, du carburant et l'année de mise en circulation du véhicule, à l'aide d'une régression linéaire (9,7 % des distances en mobilité locale et 9,2 % des longues distances) ;

- quand aucune caractéristique du véhicule n'est connue, l'émission unitaire attribuée est de 162 gCO_2e/km en mobilité locale et 156 gCO_2e/km en longue distance, correspondant aux valeurs moyennes, calculées sur les déplacements renseignés (13,6 % des distances en mobilité locale et 21 % des longues distances).

Enfin, le taux d'occupation du véhicule renseigné dans l'enquête, appliqué aux émissions unitaires, permet de déterminer les émissions unitaires par passager.

C. Surémission à froid

Les moteurs thermiques consomment plus de carburant lorsqu'ils ne sont pas à leur température optimale. C'est le cas lors des premières minutes de déplacement en voiture, lorsque les moteurs sont encore « froids ». La méthode Copert propose un ratio de surémission à froid selon la motorisation du véhicule (où ta est la température ambiante en Celsius). En prenant ta = 13,7 °C en tant que moyenne des températures en France métropolitaine sur l'année 2019, le taux de surémission à froid se détermine ainsi :

- pour le diesel : R_dies = 1,34 – 0,008 ta=1,23 ;
- pour l'essence et le GPL : R_ess = 1,47 - 0,009 ta=1,35.

On calcule ensuite la distance nécessaire à la chauffe du moteur. Copert indique le pourcentage de distance agrégée parcourue à froid à partir de la distance moyenne des déplacements (ltrip) avec la formule ci-dessous :

Part à froid = 0,6474 - 0,02545 × ltrip - (0,00974 - 0.000385 × ltrip) × ta

Dans l'EMP, en considérant les déplacements de mobilité locale ainsi que les déplacements longue distance, la distance moyenne est de 16,4 km tous trajets en voiture confondus. Ceci correspond, d'après la formule proposée par Copert à une proportion de 18,2 % des distances parcourues à froid. On en déduit que les 3,52 premiers kilomètres de chaque déplacement sont parcourus à froid.

Pour les voitures hybrides, nous faisons le choix de ne pas attribuer de surémission dans les premiers kilomètres des déplacements pour deux raisons. Premièrement, Copert ne propose pas de ratio de surémission. Deuxièmement, la montée en température du moteur thermique et son usage ne se réalisent pas forcément dans les tous premiers kilomètres des déplacements, où le véhicule est susceptible de fonctionner en mode électrique.

Pour les véhicules sans information sur le carburant, on utilise la moyenne des paramètres essence, GPL et diesel, pondérée par le poids de l'essence et du GPL dans les déplacements (25 %).

Dernière étape, les paramètres calculés indiquent le ratio entre surémissions à froid et émissions à chaud. À partir du RSVERO, on dispose des émissions moyennes, agrégeant fonctionnement à froid et à chaud. Il faut donc appliquer les coefficients de surémissions à froid tout en maintenant le même niveau d'émissions agrégées. Le tableau 3 ci-dessous indique les paramètres calculés pour déterminer les surémissions à froid et émissions à chaud à partir des émissions moyennes.

Tableau 3 : correctif des surémissions à froid et des émissions à chaud dans l'EMP

	Surémissions à froid/ émissions à chaud	Emissions à chaud/ émissions moyennes	Surémissions à froid/ émissions moyennes
Essence+GPL	+ 35 %	- 5 %	+ 28 %
Diesel	+ 23 %	- 3 %	+ 20 %
Autre	+ 26 %	- 3 %	+ 23 %

Les surémissions à froid représentent 5,5 % des émissions totales dues à la voiture (6,8 % en mobilité locale, 0,3 % en longue distance). La part des déplacements locaux dans les émissions dues à la voiture passe de 78,7 % à 79,7 % avec la prise en compte des surémissions à froid. La part des déplacements locaux de moins de 5 km dans les émissions dues à la voiture passe, quant à elle, de 8,3 % à 9,7 %.

III. Taxi et VTC

Pour les taxis et les VTC, les informations du répertoire statistique des véhicules routiers sont mobilisées. Ces véhicules sont identifiés grâce à la catégorie spécifique de leurs contrôles techniques. Plus précisément, on retient les véhicules pour lesquels la première visite de contrôle postérieure au 1er janvier 2019 relève des catégories « TAXI » ou « VTC ». En pondérant par la distance parcourue en 2019, on obtient une émission unitaire égale à 166 gCO_2e/km (168 pour les taxis et 164 pour les VTC).

On ne prend pas en compte le taux d'occupation déclaré par l'enquêté car on suspecte que, dans de nombreux cas, l'enquêté a compté le chauffeur de taxi comme accompagnant (*tableau 4*) alors qu'on ne doit pas imputer à ce dernier une part des émissions.

Tableau 4 : occupation des véhicules pour les trajets locaux en taxi et en voiture
En % des distances

	Taxi ou VTC	Voiture
1 personne	48,4	45,5
2 personnes	24,9	28,9
Dont 2 personnes du même ménage	*7,4*	*19,8*
Dont 2 personnes de ménages différents	*17,5*	*9,1*
3 personnes et plus	26,7	25,6

Champ : France métropolitaine.
***Source :** Insee-SDES, enquête mobilité des personnes 2019*

IV. Transport spécialisé (handicap)

Pour le transport spécialisé de personnes handicapées, on applique les émissions unitaires des véhicules utilitaires légers en 2018-2019, calculées à partir du *Bilan annuel des transports*, soit 225 gCO_2e/km (269 gCO_2e/km amont carburant compris).

V. Bus et car

Plusieurs valeurs sont disponibles dans les différentes sources institutionnelles pour les émissions unitaires des transports en commun routiers (RATP, impactco2.fr, Information GES des prestations de transport, Base empreinte, Information GES des prestations de transport, impactco2.fr).

Face à l'hétérogénéité de ces valeurs, qui s'appuient sur des hypothèses parfois fortes (par exemple, le taux de remplissage des cars dits « Macron » est appliqué à l'ensemble des cars), plusieurs variantes des émissions unitaires de GES par passager ont été calculées. Ces calculs s'appuient sur trois variables : les distances annuelles parcourues par les véhicules issues du Bilan de la circulation, les taux d'occupation et les consommations unitaires des véhicules. Pour la première variable, nous n'avons qu'une seule option à disposition, tirée du *Bilan annuel des transports* (*tableau 5a*).

Tableau 5a : circulation en 2019 (en milliards de vehicule.km) selon le type de carburant

Véhicule	Diesel	GNV	Autre
Bus	0,893	0,131	0,013
Car	1,996	0,005	0,002

Pour les deux autre variables, plusieurs options qui dépendent de plusieurs sources sont décrites dans les deux tableaux 5b et 5c ci-dessous.

Tableau 5b : consommation des bus et cars selon les sources (par véhicule.km)

Véhicule	Carburant	Copert (Tier 2)	Information GES	Bilan annuel transports
Bus	Diesel (en l/km)	0,358	0,449	0,307
Car	Diesel (en l/km)	0,294	0,449	0,307
Bus	GNV (en kg/km)	0,455	0,423	0,352

Tableau 5c : taux d'occupation des bus et des cars selon les sources

Véhicule	Information GES	Bilan annuel transports	EMP*	D'après DEEM Cerema
Bus	9,66	11,05	8,21	14,98
Car		18,81	9,09	22,50

** L'EMP fournit ici le numérateur, les voyageurs.km. Le dénominateur est fourni par le Bilan annuel des transports.*

Pour le contenu carbone des carburants, on utilise le guide méthodologique *Information GES des prestations de transport* qui indique 2,51 gCO_2e/litre de gasoil et 2,406 gCO_2e/kg de GNV (respectivement 2,406 et 2,956 avec amont lié à la production d'énergie). En combinant les différentes valeurs disponibles pour la consommation et le taux d'occupation des bus et des cars, on obtient 12 valeurs possibles pour les émissions unitaires, reproduites dans les tableaux 6a et 6b.

Tableau 6a : émissions unitaires des bus selon la source choisie en gCO_2e/km (sans amont)

	Source carburant		
Source taux d'occupation	**Copert**	**Information GES**	**Bilan annuel transports**
Cerema	61	73	51
EMP	111	134	94
Bilan annuel transports	83	99	70
Information GES	94	114	80

Tableau 6b : émissions unitaires des cars selon la source choisie en gCO_2e/km (sans amont)

	Source carburant		
Source taux d'occupation	Copert	Information GES	Bilan circulation
Cerema	33	50	34
EMP	81	124	85
Bilan annuel transports	39	60	41
Information GES	76	117	80

Selon les paramètres retenus, les émissions unitaires des bus varient du simple au double et celles des cars du simple au quadruple.

Pour les carburants, nous avons décidé de privilégier Copert car cette source permet de distinguer les bus et les cars.

Pour le taux d'occupation, nous avons décidé de privilégier le *Bilan annuel des transports*, qui donne une valeur différente pour les bus et cars et qui fournit une valeur intermédiaire par rapport aux autres sources disponibles.

Avec ces hypothèses, nous obtenons des émissions unitaires par passager de 81 gCO_2e/km pour les bus (104 gCO_2e/km avec amont carburant) et 39 gCO_2e/km pour les cars (49 gCO_2e/km avec amont carburant).

VI. Tramway, métro et navette fluviale

Pour ces modes de transports, on prend comme source la Base Empreinte de l'Ademe. Pour le tramway et le métro, cela correspond aux données de l'Île-de-France en 2021. Les paramètres retenus sont les suivants :

- Tramway : 0 gCO_2e (3 gCO_2e amont production d'énergie compris) ;
- Métro : 0 gCO_2e (4 gCO_2e amont production d'énergie compris) ;
- Navette fluviale : 51 gCO_2e (64 g CO_2e amont production d'énergie compris).

VII. Train (TER, TGV, Intercités, Transilien)

Le réseau ferré est pour la majeure partie électrifié en France. Cependant, une part non négligeable de trains circule encore au gazole. C'est notamment le cas de certains TER sur des lignes secondaires.

La SNCF communique les émissions unitaires par type de train en faisant des moyennes prenant en compte l'amont carburant, c'est-à-dire la production d'électricité, la production et la combustion de diesel. L'objectif est ici d'estimer des émissions unitaires hors amont carburant, ce qui revient à comptabiliser uniquement la combustion de diesel, les émissions des trains électriques étant nulles en utilisation.

En 2019, la SNCF a réévalué les facteurs d'émission de l'électricité (ceux-ci passant de 38,6 gCO_2e/kWh à 59,9 gCO_2e/kWh) sans modifier le facteur d'émission pour le diesel[2]. Les émissions unitaires moyennes par type de train ayant été publiées cette année avec les anciens et nouveaux facteurs d'émission, il a été possible d'en déduire la part de l'émission unitaire (amont carburant compris) due au diesel. On soustrait l'émission amont de la

[2] À la suite d'un changement méthodologique sur la Base Carbone® de l'Ademe pour le facteur d'émission de l'électricité, la SNCF a fait le choix d'utiliser le mix moyen national et non plus une valeur par usage pour l'électricité de traction ferroviaire. Ce choix permet de s'harmoniser avec les pratiques internationales.

production de diesel en utilisant les chiffres fournis par l'Ademe (*tableau 7*) pour disposer d'une estimation des seules émissions liées à la combustion du diesel

Tableau 7 : émissions de GES (en kgCO_2e) par litre de gazole non routier

Émissions hors amont	Émissions avec amont lié à la production d'énergie
2,51	3,17

Source : *Base Empreinte Ademe*

Le tableau 8 ci-dessous détaille les calculs permettant de déterminer les paramètres d'émission par type de train.

Tableau 8 : détails du calcul des émissions CO_2e/km des différents trains

Émissions année 2019 (gCO_2e/km.voy)	Intercités	TGV	Transilien	TER
Émissions (amont carburant compris) avant changement méthodologie (SNCF)	5,29	1,73	4,75	24,8
Émissions (amont carburant compris) après changement méthodologie (SNCF)	6,73	2,71	7,04	26,93
Dont émissions dues au diesel (calcul SDES)	2,7	0	0,6	21,0
Émission CO_2e/km (sans amont carburant, calcul SDES)	2,1	0,0	0,5	16,6

Au total, après arrondi, les valeurs retenues pour le train sans prise en compte de l'amont lié à la production d'énergie (respectivement avec l'amont carburant) sont les suivantes :

- Intercité : 2 gCO_2e/km (7 gCO_2e/km) ;
- TGV : 0 gCO_2e/km (3 gCO_2e/km) ;
- Transilien : 1 gCO_2e/km (7 gCO_2e/km) ;
- TER : 17 gCO_2e/km (27 gCO_2e/km).

VIII. Avion

Pour les trajets en avion, on retient les données de la Base empreinte de l'Ademe, hors amont et effets non-CO_2 (donc hors traînées de condensation notamment) :

- court-courrier (<1 000 km) : 117 gCO_2e/km.voy ;
- moyen-courrier (>=1 000 km et <3 500 km) : 84,7 gCO_2e/km.voy ;
- long-courrier (>=3 500 km) : 68,7 gCO_2e/km.voy.

Les correspondances (escales) ont bien été prises en compte, afin d'attribuer les bons facteurs d'émission unitaires aux différents vols.

Effets non-CO_2 de l'aviation civile

L'aviation contribue au réchauffement climatique non seulement au travers des émissions CO_2 dues à la consommation de carburants mais également par d'autres effets physico-chimiques dits « non-CO_2 ».

Les effets non-CO_2 de l'aviation sont complexes à mesurer et à estimer, et dépendent de nombreux paramètres (altitude de vol, latitude, température, saisoCO_2…). Aujourd'hui, la communauté scientifique concentre ses efforts de recherche sur trois de ces effets :

1) Le principal effet provient des cirrus induits par les traînées de condensation dont il est admis que l'effet réchauffant l'emporte sur l'effet d'albédo refroidissant.

2) Les NOx (oxydes d'azote) rejetés par les avions ne sont pas des GES à proprement parler mais ils augmentent la concentration d'ozone à court terme et diminuent la quantité de méthane à moyen terme dans l'atmosphère. Il est couramment admis que l'effet réchauffant de l'augmentation de l'ozone due à l'aviation l'emporte sur l'effet refroidissant de la diminution du méthane.

3) Les particules émises par les avions peuvent modifier les propriétés optiques des nuages : ces effets sont très incertains et leur caractère réchauffant ou refroidissant reste inconnu.

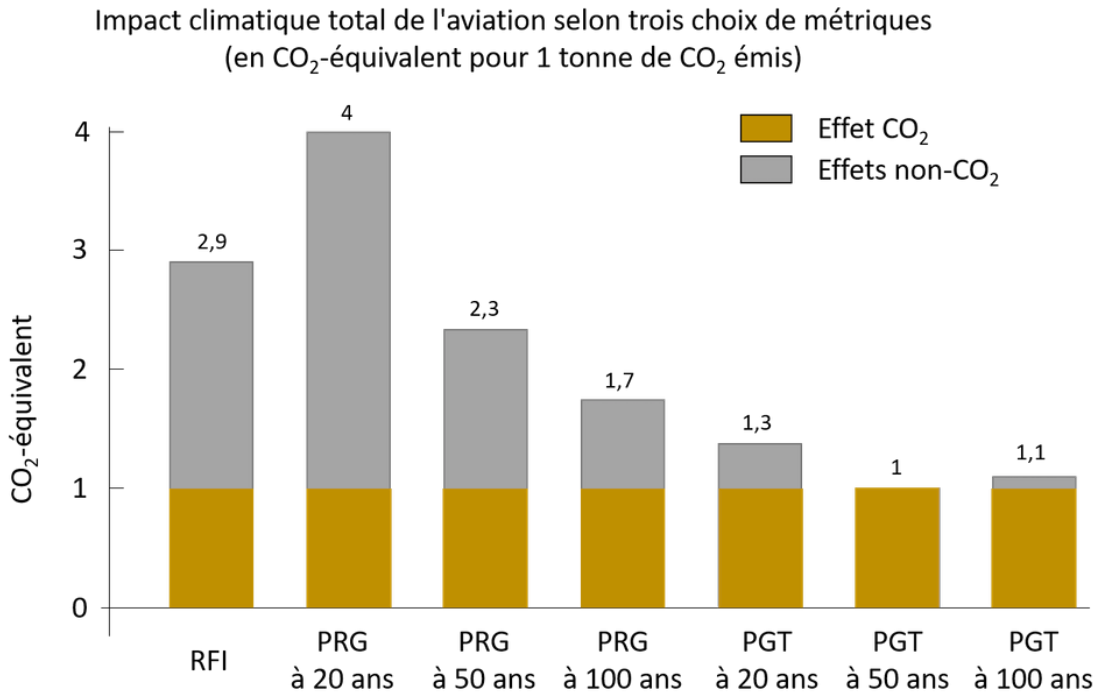
Si des quantifications de ces différents effets sont disponibles dans la littérature académique récente[3], celles-ci demeurent néanmoins peu précises et doivent donc être utilisées avec précaution. Cependant, les efforts de recherche scientifique sur les effets non-CO_2 de l'aviation tendent à s'intensifier[4] et des avancées significatives sont attendues dans les prochaines années. De plus, à cette incertitude liée à la quantification des effets non-CO_2 s'ajoute la question du choix de la métrique pour les intégrer dans un calcul en CO_2 équivalent.[5] Plusieurs métriques sont possibles, notamment : l'indice de forçage radiatif (RFI), qui cumule les effets des émissions passées et n'est donc applicable que dans un scénario de prolongation de la trajectoire actuelle de croissance des émissions de l'aviation ; le pouvoir de réchauffement global (PRG) et le pouvoir de changement global de température (PGT), qui permettent de comparer les effets climatiques futurs des émissions actuelles mais dépendent de l'horizon temporel considéré. Le graphique ci-dessous montre que la quantification des effets non-CO_2 dépend fortement de la métrique retenue.

[3] Voir par exemple Lee et al. 2021, *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018.*

[4] Au niveau national, un projet scientifique ambitieux sur 5 ans, dénommé « Climaviation » (voir https://climaviation.fr/ pour plus d'informations), a ainsi été lancé en 2021 par l'ONERA et l'IPSL, avec le soutien de la DGAC.

[5] Bien que les effets en jeu ne soient pas liés au CO_2, il est intéressant de les mesurer sur une même échelle, ici l'équivalent CO_2, pour les comparer avec l'impact de la combustion de carburant par exemple.

Figure 1 : effets non-CO_2 de l'aviation civile selon le choix de la métrique (Source : Lee et al. 2021, *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018*)



Selon Lee et al. (Atmos, Env., 2021)

Dans son rapport complet sur les effets non-CO_2 de l'aviation[6], l'Ademe recommande de retenir un facteur 2, soit un facteur plus petit que celui estimé avec la métrique du forçage radiatif (facteur de 2,9), ou que celui d'un PRG à 20 ans (facteur de 4) ou à 50 ans (facteur de 2,3) mais plus grand que celui d'un PRG à 100 ans (facteur de 1,7).

L'Ademe conclut d'ailleurs son rapport ainsi :

« Des facteurs multiplicatifs dépendant a minima de la distance de vol (reflétant des altitudes de vol différentes) devraient être utilisés. Toutefois, à ce stade de connaissances scientifiques, il n'y a pas une méthodologie consolidée permettant d'appliquer de tels facteurs de façon généralisée. La présente étude recommande ainsi de maintenir l'équivalent CO_2 constant dans la Base Carbone de l'Ademe, actuellement égal à 2. »

Nous avons fait le choix de suivre cette recommandation de l'Ademe et d'utiliser un facteur 2. L'Ademe propose également un chiffre pour l'amont lié à la production de carbutant. Ainsi, les émissions unitaires choisies pour cette étude, amont et effet non-CO_2 compris sont :

- court-courrier (< 1 000 km) : 258 gCO_2e/km.voy ;
- moyen-courrier (>= 1 000 km et < 3 500 km) : 187 gCO_2e/km.voy ;
- long-courrier (>= 3 500 km) : 152 gCO_2e/km.voy.

[6] Voir https://librairie.ademe.fr/cadic/5574/ademe-citepa-rapport-final-trainees-aerien-202104.pdf

IX. Bateau

Dans l'enquête mobilité des personnes, un seul mode de transport pour le transport maritime dénommé « bateau » était proposé. Nous faisons l'hypothèse que les déplacements effectués en bateau sont effectués en ferry. Il n'existe pas de données à jour dans la Base empreinte de l'Ademe pour ce mode de transport, les seuls paramètres disponibles étant archivés.

À défaut, on retient les chiffres fournis par le gouvernement britannique, sachant qu'un tiers environ des déplacements en bateau dans l'EMP ont pour départ ou origine le Royaume-Uni. Le niveau d'émission unitaire par passager retenu s'élève ainsi à 113 gCO_2e/km (138 gCO_2e/km amont carburant compris).

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES

Liberté
Égalité
Fraternité

Commissariat général
au développement durable

Commissariat général au développement durable
Service des données et études statistiques
Sous-direction des statistiques des transports
Tour Séquoia - 92055 La Défense cedex

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

STATISTIQUE
PUBLIQUE