



## Le calculateur d'émissions de vols de myclimate

Le calculateur d'émissions de vols quantifie les émissions directes et indirectes en équivalent CO<sub>2</sub> par passager pour une distance de vol donnée. Les émissions estimées représentent une valeur moyenne correspondant à la distance entre une paire donnée d'aéroports d'origine et de destination. La quantification se base sur les statistiques internationales les plus récentes concernant les charges passagers et les cargaisons, ainsi que sur le type d'avion utilisé. Les émissions estimées par passager représentent la quantité d'équivalents CO<sub>2</sub> à réduire dans les projets de compensation carbone de myclimate.

Dans ce qui suit, le calcul des émissions de vols est détaillé étape par étape. Les facteurs utilisés se basent tous sur les estimations publiées et des statistiques récentes. Dans la mesure du possible, les calculs et les hypothèses d'émissions sont en phase avec la norme européenne DIN EN 16258.

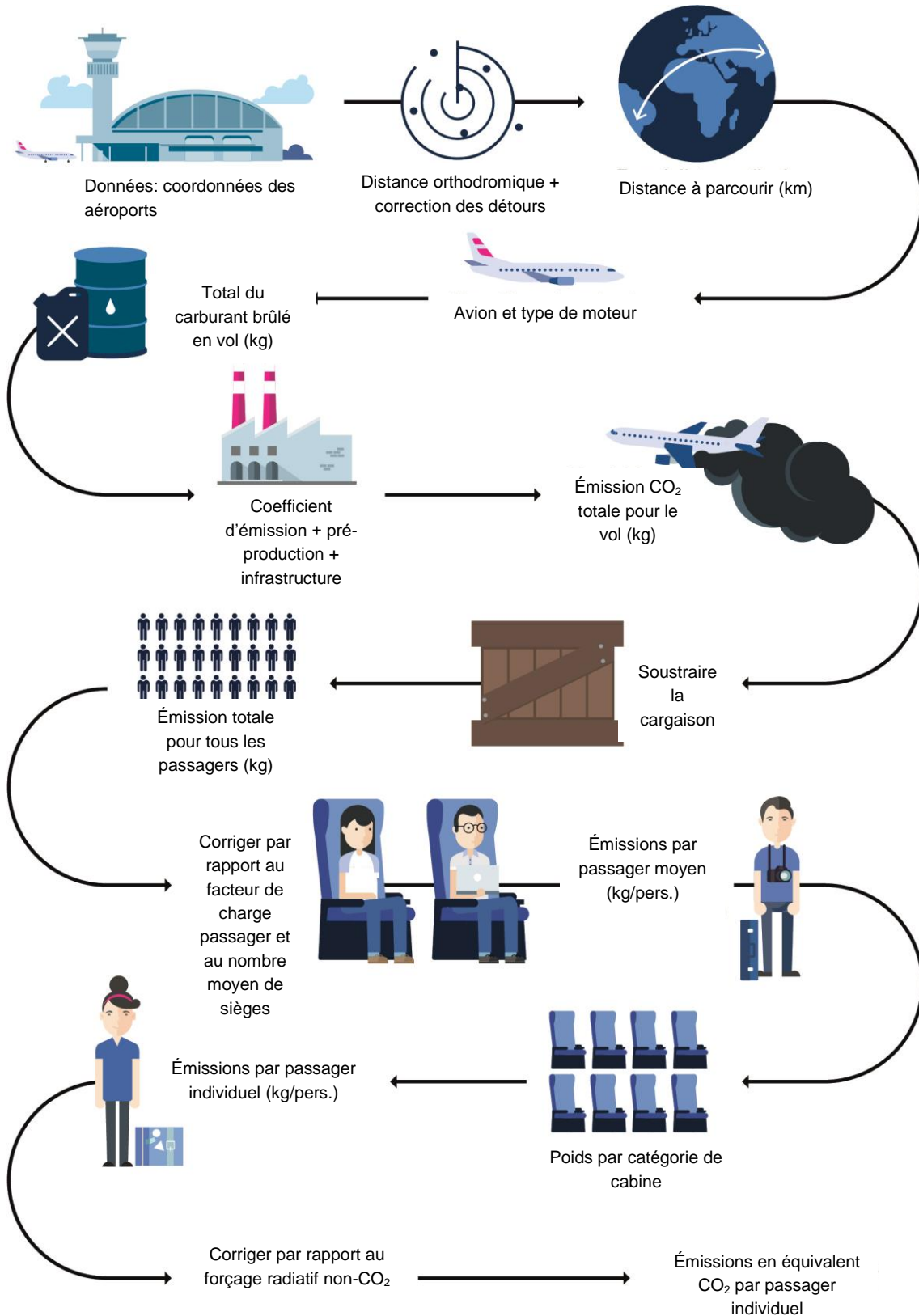
### Fondation myclimate

Pfingstweidstrasse 10  
8005 Zurich, Suisse  
[info@myclimate.org](mailto:info@myclimate.org)  
[www.myclimate.org](http://www.myclimate.org)

13/08/2019

# 1. Résumé des étapes

Le schéma ci-après illustre les différentes étapes utilisées dans le calculateur de vols.



## 2. Distance de vol

La distance de vol entre deux aéroports se base sur la distance orthodromique, soit la distance la plus courte entre deux aéroports. En cas de vols non directs avec escale, les deux phases sont traitées comme deux vols distincts. Comme le type d'avion et les facteurs de charge passagers dépendent de la distance de vol, nous faisons une distinction entre les vols court-courrier (<1'500 km) et long-courrier (>2'500 km). Comme les limites diffèrent pour les courts courriers, nous interpolons les distances de vols entre 1'500 et 2'500 km pour une transition harmonieuse.

La distance de vol réelle entre deux aéroports est souvent bien plus longue que la plus courte distance entre ces deux aéroports. Le kilométrage supplémentaire est essentiellement dû au manque d'efficacité des systèmes de contrôle du trafic aérien, à des phénomènes de tempêtes ou d'autres événements météorologiques, ainsi qu'aux circuits d'attente (en boucle) qui précèdent l'atterrissage (Kettunen 2005). Tandis qu'il n'existe pas de statistiques mondiales fiables sur les kilométrages supplémentaires, les estimations régionales indiquent qu'ils représentent 6-8% au-dessus des États-Unis et 10% au-dessus de l'Europe (Kettunen 2005). Cependant, avec une telle approche relative, le kilométrage supplémentaire des vols long-courrier a tendance à être surestimé. Par conséquent, l'approche suggérée par la norme européenne DIN EN 16258 (2012) est adoptée et un kilométrage / une distance corrigée supplémentaire (DC) de 95 km sont ajoutés à tous les vols.

## 3. Consommation de carburant par kilomètre parcouru en avion

La consommation de carburant par distance est basée sur le taux de combustion du carburant des avions utilisés sur les vols court-courrier (<1'500 km) et long-courrier (>2'500 km). Les émissions de carburant brûlé par kilomètre en avion sont basées sur le Manuel EMEP/AEE d'inventaire des émissions de polluants atmosphériques (AEE 2016). De plus, une quantité constante de carburant est ajoutée à chaque vol pour tenir compte de la consommation de l'avion pendant l'atterrissage et le décollage («landing and take-off», LTO) ainsi que pendant la phase de roulage (déplacement au sol sur l'aéroport) (AEE 2009).

La consommation de l'avion se base sur une moyenne pondérée des taux de carburant brûlé et la consommation lors des cycles d'atterrissage/de décollage pour les types d'avions les plus utilisés. La pondération des types d'avions est obtenue à partir du total des kilomètres parcourus par type d'avion (ICAODATA 2019) et se base sur les données des plus grandes compagnies aériennes. Le schéma de pondération intègre les avions les plus fréquemment utilisés, à savoir, les court-courriers: Airbus A310, Airbus A320, et les long-courriers: Boeing 747, Boeing 777, Airbus A330 et Airbus A340.

Sur la base de ce schéma, la consommation moyenne pondérée de carburant est calculée pour différentes distances de vols. Une fonction généralisée pour la consommation de carburant de toute distance de vol donne un résultat approximatif en appliquant un polynôme du second degré pour les vols court et long-courrier.

$$f(x) + LTO = ax^2 + bx + c$$

avec  $x = DO + DC$ , DO correspondant à la distance orthodromique [km] et DC à la distance corrigée [km] pour les kilomètres supplémentaires et LTO au carburant supplémentaire utilisé par cycle d'atterrissage et de décollage. La consommation de carburant pour les distances comprises entre 1'500 et 2'500 km est interpolée linéairement.

## 4. Émissions de CO<sub>2</sub> et pré-production de carburant

Le calculateur comptabilise les émissions de CO<sub>2</sub> de la pré-production de carburant d'aviation/kérosène (en incluant le transport et les processus de raffinage) et la combustion de carburant. Le facteur d'émission pour la combustion de carburant d'aviation (kérosène) est de 3,15 kg de CO<sub>2</sub>e/kg de carburant d'aviation (IPCC 2013) et le facteur utilisé ici pour la pré-production est 0,538 kg de CO<sub>2</sub>e/kg de carburant d'aviation (ecoinvent 2018).

## 5. Part allouée au fret

Les avions de passagers transportent souvent des quantités considérables de fret et de courrier, en particulier les gros-porteurs sur les vols long-courrier. Il faut par conséquent imputer une partie des émissions totales des avions au fret.

Pour rester en phase avec la norme européenne DIN EN 16258 (2012), le fret aérien est désormais<sup>1</sup> intégré à hauteur de son poids (masse). En raison de sa charge utile plus élevée (LH 2014) sur les vols internationaux, les émissions issues du fret sont largement plus importantes.

## 6. Émissions de CO<sub>2</sub> par passager

Les émissions de CO<sub>2</sub> par avion sont réparties sur le nombre moyen de passagers empruntant les vols court et long-courrier. Le nombre de passagers correspond ici au nombre de sièges par type d'avion (ICAODATA 2019) multiplié par le facteur de charge passager publié par l'Association internationale du transport aérien (OACI 2018). Les chiffres sont calculés pour chaque type d'avion, puis pondérés selon le schéma de pondération décrit ci-dessus.

---

<sup>1</sup> Auparavant, myclimate avait recours à une approche monétaire, c.-à-d. que nous imputions les émissions en fonction du revenu d'exploitation des grandes compagnies aériennes du secteur du transport de passagers et du fret/courrier.

## 7. Schéma de pondération par catégorie de cabine

La capacité en passagers des avions est souvent limitée parce que les sièges en première classe et en classe affaires prennent plus de place. En d'autres termes, le même avion pourrait transporter plus de personnes en réduisant l'espace occupé par ces sièges. C'est pourquoi le calculateur d'émissions permet de sélectionner la catégorie de cabine. Les émissions sont imputées aux différentes catégories de cabines en fonction de la moyenne des sièges de la zone dans la classe de cabine sélectionnée (SeatGuru 2012). Le facteur de pondération par catégorie de cabine est calculé pour chaque type d'avion puis pondéré selon le schéma de pondération décrit ci-dessus.

## 8. Comptabilisation des effets non-CO<sub>2</sub> de l'aviation

Les avions n'émettent pas seulement du CO<sub>2</sub>, mais également des facteurs de forçage qui affectent l'équilibre radiatif de la Terre et par conséquent le climat. Entre autres facteurs, les émissions de l'aviation induisent également une augmentation à court terme de l'ozone troposphérique qui résulte des émissions d'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>), créent des traînées de condensation («contrails») et pourraient perturber la formation des cirrus. En conséquence, on estime que le volume de l'ensemble des effets radiatifs est deux à quatre fois plus important que le forçage radiatif direct du CO<sub>2</sub>. Les recherches se poursuivent toutefois afin de limiter les incertitudes. En outre, il est particulièrement difficile de comparer les effets CO<sub>2</sub> et non-CO<sub>2</sub>, car ils agissent sur des échelles de temps différentes. Mais il ne serait pas clairvoyant d'un point de vue scientifique d'ignorer ces effets. Les toutes dernières études (Jungbluth & Meili 2018)<sup>2</sup>, basées sur l'interprétation correcte des publications scientifiques les plus récentes, recommandent d'appliquer un facteur d'indice de forçage radiatif (IFR) de 2 aux émissions totales de CO<sub>2</sub> des avions. Cela conforte les calculs de myclimate, car myclimate avait déjà décidé de multiplier les émissions estimées de CO<sub>2</sub> par un facteur de 2 (appelé ici multiplicateur) pour tenir compte de l'effet de réchauffement dû aux émissions non-CO<sub>2</sub> des avions (Jungbluth & Meili 2018, Kollmuss & Crimmins 2009).

## 9. Émissions des avions et des infrastructures

On commence par produire des avions, puis vient la maintenance et ils sont recyclés en fin de vie. Les émissions liées à ces activités sont incluses sous forme de facteur, lequel affecte ces émissions au nombre total de kilomètres parcourus. En outre, l'aviation nécessite certaines infrastructures; ces émissions issues de l'exploitation des aéroports sont également incluses (Messmer & Frischknecht, 2016).

---

<sup>2</sup> Informations complémentaires et comparaisons: <http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/jungbluth-2018-IntJLCA-GWP-aviation-recommendations.pdf>

## 10. Formule

On utilise la formule suivante pour calculer les émissions totales en équivalent CO<sub>2</sub>:

$$E = \frac{ax^2 + bx + c}{S * PLF} * (1 - CF) * CW * (EF * M + P) + AF * x + A$$

avec

E: émissions en éq.-CO<sub>2</sub> par passager [kg]

x: distance de vol [km] qui est définie par la somme de la DO (distance orthodromique), de la DC (distance corrigée des détours et des circuits d'attente) et du manque d'efficacité des systèmes de contrôle du trafic aérien [km]

S: nombre moyen de sièges (toutes catégories de cabines confondues)

FCP: facteur de charge passager

FF: facteur fret

PC: facteur de pondération par catégorie de cabine

FE: facteur d'émission de CO<sub>2</sub> pour la combustion de carburant d'aviation (kérosène)

M: multiplicateur représentant les effets non-CO<sub>2</sub> potentiels

P: facteur d'émission de CO<sub>2</sub> pour la pré-production de carburant d'aviation/de kérosène

FA: facteur avion

A: émissions infrastructures aéroportuaires

La partie  $ax^2 + bx + c$  est une approximation non linéaire de  $f(x) + LTO$

LTO: consommation de carburant pendant les cycles d'atterrissage et de décollage, roulage compris [kg]

Court courrier correspond à  $x < 1'500$  km et long-courrier à  $x > 2'500$  km. Entre les deux, une interpolation linéaire est utilisée.

Les paramètres de calcul suivants sont utilisés:

Type d'avion	Court-courrier générique	Long-courrier générique
<b>Nombre moyen de sièges (S)</b>	153,51	280,21
<b>Facteur de charge passager (FCP)</b>	0,82	0,82
<b>Constante détour (DC)</b>	95	95
<b>1 - Facteur fret (1 - FF)</b>	0,93	0,74
<b>Classe économique (PC)</b>	0,96	0,80
<b>Poids classe affaires (PC)</b>	1,26	1,54
<b>Poids première classe (PC)</b>	2,40	2,40
<b>Facteur d'émission (FE)</b>	3,15	3,15
<b>Pré-production (P)</b>	0,54	0,54
<b>Multiplicateur (M)</b>	2	2
<b>Facteur avion (FA)</b>	0,00038	0,00038
<b>Aéroport/Infrastructures (A)</b>	11,68	11,68
<b>a</b>	±0,0000	0,0001
<b>b</b>	2,714	7,104
<b>c</b>	1'166,52	5'044,93

## 11. Références

- DIN EN 16258, 2012. Norme européenne EN 16258, CEN (Comité européen de normalisation), Bruxelles, novembre 2012
- ECOINVENT, 2018. Version 3.5, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich, Suisse. <http://www.ecoinvent.org>
- AEE, 2016. Manuel EMEP/AEE d'inventaire des émissions de polluants atmosphériques – 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories – *Part B: sectoral guidance chapters, section 1.A.3.a Aviation*
- OACI, 2018. Organisation de l'aviation civile internationale. Economic Development, Air Transport Monthly Monitor, juillet 2018
- ICAODATA, 2019. Base de données statistiques de l'Organisation de l'aviation civile internationale sur le secteur du transport aérien. Disponibilité des données: 2009-2017, <http://www.icaodata.com>
- IPCC 2013. IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution du groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Participants: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (ndr.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Jungbluth & Meili, 2018. Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index, ESU-services, Schaffhausen, novembre 2018. <http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/jungbluth-2018-IntJLCA-GWP-aviation-recommendations.pdf>
- Kettunen et al. 2005. Flight Efficiency Studies in Europe and the United States. 6th USA / Europe Seminar on ATM Research and Development Baltimore, Maryland, USA, 27 - 30 juin 2005. [http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar6/papers/p\\_055\\_MPM.pdf](http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar6/papers/p_055_MPM.pdf)
- Kollmuss&Crimmins, 2009. Carbon Offsetting & Air Travel – Part 2 : Non-CO<sub>2</sub> Emissions Calculations. Stockholm Environment Institute. SEI Discussion Paper, juin 2009. [http://sei-us.org/Publications\\_PDF/SEI-CarbonOffsettingAirTravelPt2-09.pdf](http://sei-us.org/Publications_PDF/SEI-CarbonOffsettingAirTravelPt2-09.pdf)
- LH 2014. Pallets, Containers, and fleet, Lufthansa Cargo AG, Frankfurt/Main, avril 2014
- Messmer&Frischknecht, 2016. Life Cycle Inventories of Air Transport Services, treeze, décembre 2016. [http://treeze.ch/fileadmin/user\\_upload/downloads/Publications/Case\\_Studies/Mobility/544-LCI-Air-Transport-Services-v2.0.pdf](http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Mobility/544-LCI-Air-Transport-Services-v2.0.pdf)
- SeatGuru, 2008. Informations sur les sièges en avion. [www.seatguru.com](http://www.seatguru.com)