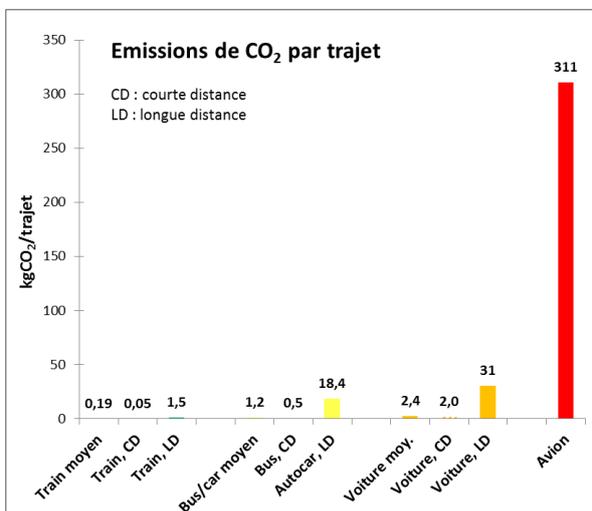
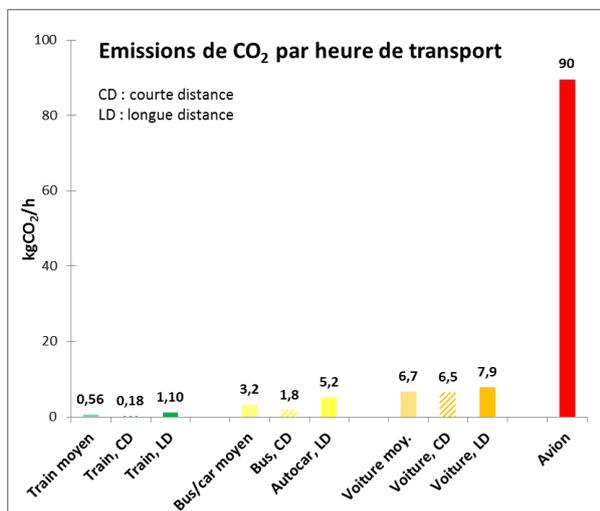
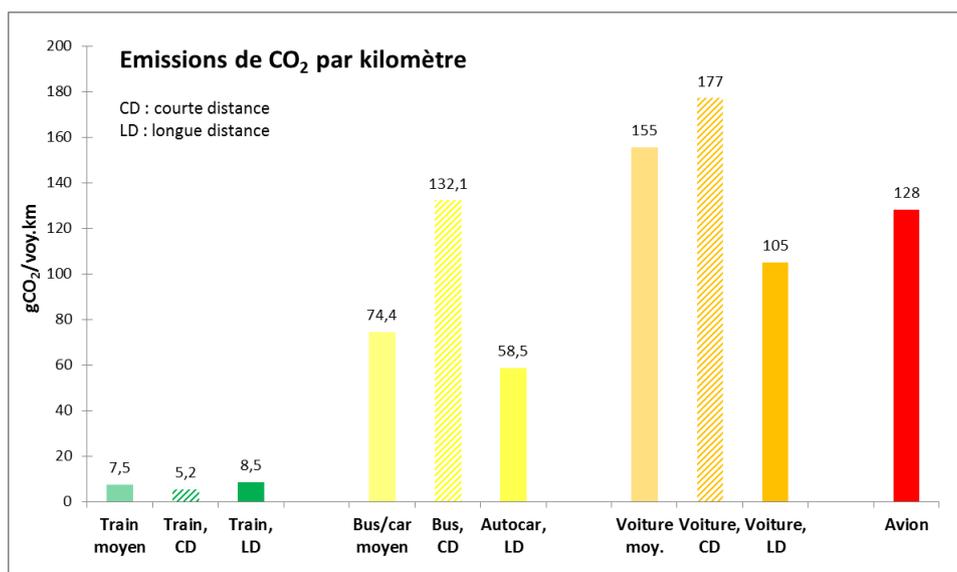


Emissions de CO₂ par mode : détail des calculs

Les données qui suivent détaillent la manière dont ont été calculées les émissions des différents modes de transport, en émissions de CO₂ par voyageur.kilomètre, par heure de trajet et par trajet. Alors que les chiffres pour le 1^{er} critère sont généralement disponibles (avec quelques différences selon les sources utilisées), les 2 autres mesures nécessitent de connaître les vitesses moyennes (pour les émissions par heure) et le nombre de kilomètre par trajet (pour les émissions par trajet). Il est important de noter que pour les vitesses des modes, il s'agit de la vitesse commerciale des véhicules, mais cela n'inclut pas pour les transports en commun le temps pour se rendre jusqu'au départ (gare, station, aéroport) et le temps d'attente avant le départ, ni le temps depuis le lieu d'arrivée du mode jusqu'à la destination finale.

Le tableau récapitulatif des chiffres donnés dans les figures de l'article est donné ici :

	Train			Bus/car			Voiture			Avion
	Moy.	CD	LD	Moy.	CD	LD	Moy.	CD	LD	Moy.
CO₂/voy.km	7,5	5,2	8,5	74,4	132,1	58,5	155,5	177	105	128
kgCO₂/h	0,56	0,18	1,1	3,2	1,8	5,2	6,7	6,5	7,9	90
kgCO₂/trajet	0,19	0,05	1,5	1,2	0,5	18,4	2,4	2,0	30,6	311



Train

Deux catégories ont été distinguées pour ce mode :

- Pour la courte distance (CD), l'estimation est faite à partir des trajets en Transilien + RER + Métros + Tramways. Ainsi, cela correspond pour la majorité à des déplacements en Île-de-France (IDF). Seuls les tramways en IDF ont été pris en compte, car ils sont généralement comptabilisés avec les autobus dans les statistiques nationales, cependant le trafic est faible hors IDF donc cela a un impact marginal sur les résultats.
- Pour la longue distance (LD), cela regroupe les TER, Intercités et TGV.

Les données viennent essentiellement des [bilans de l'Arafer](#), des [comptes des transports](#) du CGDD et de l'[Omnil](#) pour les trafics, et des [chiffres clés climat, air et énergie de l'ADEME édition 2018](#) et du [guide de l'information GES](#) du ministère pour les émissions du mode (en gCO₂/voy.km).

A partir des données par activité (TGV, TER, métros, etc.), des moyennes pondérées sont calculées pour avoir des kilométrages, des vitesses, et des émissions moyennes pour la courte distance (CD), la longue distance (LD), et le ferroviaire dans son ensemble.

Les données sont détaillées dans le tableau ci-dessous, et voici quelques compléments :

- ✓ Le **nombre de km par trajet** est généralement calculé en divisant le nombre de voy.km par le nombre de voyageurs. Pour les tramways et métros en IDF, on a plutôt les données du kilométrage moyen directement par [Omnil](#) (ce qui permet de recalculer une demande en M de voyageurs), qui est supposée égale pour les métros en IDF et hors IDF.
- ✓ Les **vitesses commerciales moyennes** tiennent compte des arrêts des trains :
 - Elles sont données par l'[Arafer 2017](#) (p12 de l'annexe du bilan 2015-2016) pour les TER, Intercités et TGV.
 - Sans donnée plus précise, elles sont considérées égales à 20 km/h pour les tramways en IDF (elles étaient de 18 km/h hors IDF en 2009 ; [CGDD 2013](#), p79), à 30 km/h pour les métros en IDF (ce qui correspond à une station tous les 500m en 1 minute) et 32,5 km/h hors IDF ([CGDD](#) p79 pour 2009), et 40 km/h pour les RER et Transilien.
 - Des moyennes pondérées par les temps de parcours (km totaux / heures totales) sont ensuite calculées pour l'ensemble CD, LD, et ferroviaire total.

	Tramways IDF	Métros	RER + Transilien	Fer, CD	TER	Intercités	TGV	Fer, LD	Ferroviaire
Demande (Md voy.km)	0,9	10,4	19,6	30,9	13,7	6,9	57,5	78,2	109,1
Demande (M de voyageurs)	293	2034	1439	3766	273	28	138	439	4210
Distance / trajet (km)	3,2	5,1	13,6	8,2	50	248	417	178	25,9
Vitesse commerciale (km/h)	20	31	40	35	83	103	155	130	75
Temps de trajet (M heures)	47	339	489	875	165	67	371	604	1479
Emissions /km (gCO₂/voy.km)	3,3	3,8	5,8	5,2	29,7	10,8	3,2	8,5	7,5
Emissions /heure (kgCO₂/h)	0,12	0,18	0,24	0,18	2,47	1,11	0,50	1,10	0,56
Emissions /trajet (kgCO₂)	0,02	0,03	0,08	0,05	1,5	2,7	1,3	1,52	0,19

✓ Calcul des émissions :

- Emissions par kilomètre (en gCO₂/voy.km) : elles sont issues de l'[ADEME](#) (p180-182) : les différences selon les activités s'expliquent principalement par les taux de remplissage des trains, ainsi que leur motorisation (les TER gazole expliquant en grande partie la plus forte valeur pour le TER moyen).

- Emissions par heure : elles sont calculées en multipliant les émissions en gCO₂/voy.km par la vitesse moyenne du train considéré, soit 0,56 kg en moyenne par heure de trajet en train.
- Emissions par trajet : elles sont calculées en multipliant les émissions en gCO₂/voy.km par la distance moyenne d'un trajet, soit 0,19 kg en moyenne par trajet en train, les différences de distances moyennes des trajets expliquant de très fortes différences selon le type de train utilisé.

Autocar & autocars

Les données sont différenciées entre les autobus en Île-de-France et les autocars Macron (ou SLO pour services librement organisés), dont des données sont disponibles respectivement dans les rapports de l'[Omnii](#) pour les bus et les [bilans de l'Arafer](#) pour les autocars. Une estimation pour l'ensemble du mode est réalisée. Aussi, les tramways hors IDF n'ont pas pu être enlevés des autobus et tramways hors IDF (données agrégées dans les [comptes des transports](#) du CGDD), mais cela n'a qu'un impact marginal sur les résultats.

- ✓ Le **nombre de km par trajet** est donné à 315 km pour les autocars Macron en 2017 ([Arafer 2018](#), p8) et il est supposé identique pour le reste des autocars. Il faut noter que pour le moment, les autocars Macron ne représentent que 5 % des autocars longue distance en France en 2017 (2,2 sur 43,9 Md voy.km ; [CGDD](#)). De même pour la courte distance, un kilométrage moyen de 3,7 km est donné par [Omnii](#) pour l'IDF et supposé identique hors IDF.
- ✓ **Vitesses moyennes** :
 - Pour la courte distance (CD), la vitesse moyenne des bus en IDF est de **13,7 km/h** (RATP, article [Les Echos](#)) et de **18 km/h** hors IDF (chiffre 2009 ; [CGDD 2013](#), p79).
 - Pour la longue distance (LD), il est indiqué que sur un trajet de 4h50 en moyenne, 1h16 sont consacrés au pré/post-acheminement (55+21 min) soit un trajet en car de 3h34. En divisant le nombre de km par trajet (315 km) par ce temps de parcours, cela donne une vitesse moyenne de **88 km/h**, ce qui semble élevé voir sûrement un peu surestimé (rapport [Arafer 2018](#) sur les pratiques, p3). Cette vitesse est conservée pour l'ensemble des autocars.
 - Au total, les vitesses sont pondérées par le temps de transport en autocars et autobus, pour trouver une vitesse moyenne du mode de **43 km/h**, équivalent à ce qui a été trouvé pour la voiture.
- ✓ **Calcul des émissions** :
 - Emissions par kilomètre (en gCO₂/voy.km) : elles sont issues des chiffres de l'[ADEME](#), soit 132,1 gCO₂/voy.km pour les bus de province (considéré identique pour les bus en IDF) et 58,5 gCO₂/voy.km pour les autocars. La pondération par les trafics pour l'ensemble du mode donne des émissions de 74,4 gCO₂/voy.km.
 - Emissions par heure : elles sont calculées en multipliant les émissions en gCO₂/voy.km par la vitesse moyenne, soit 3,2 kg en moyenne par heure de trajet en bus/car.
 - Emissions par trajet : elles sont calculées en multipliant les émissions en gCO₂/voy.km par la distance moyenne d'un trajet, soit 1,2 kg en moyenne par trajet.

Voiture

La difficulté pour ce mode est d'additionner mobilité locale et longue distance pour avoir des chiffres moyens pour l'ensemble du mode, tous trajets confondus. Les données viennent de la dernière enquête nationale transports déplacements (ENTD) réalisée en 2008, issues pour la plupart de la publication du [CGDD 2010](#) résumant les principaux éléments de l'enquête (les pages indiquées entre parenthèse correspondent au numéro de page du document PDF).

- ✓ Calcul du **nombre de trajets** :
 - Courte distance : 1011 déplacements par an et par personne (p174) multipliés par la population de + de 6 ans (56,2 millions de personnes ; p28), multiplié par la part modale de la voiture en semaine de 64,9 % (considérée ici comme la part modale de la voiture pour l'ensemble des déplacements locaux ; p68), soit environ **36,9 Md** de trajets.
 - Longue distance : 14,1 déplacements par an et par personne (p174) multipliés par 56,2 millions de personnes (p28), multiplié par la part modale de la voiture en pour les voyages de longue distance de 73,4 % (p153), soit environ **0,5 à 0,6 Md** de trajets (selon à quel mode on accord les trajets intermédiaires dans les voyages supérieurs à 2 trajets).
 - Total : environ **37,5 Md de trajets** en tout.
- ✓ Calcul du **nombre de km** parcourus par les voyageurs :
 - Total : il est indiqué que les déplacements totaux font environ 830 Md voy.km (p165), et la répartition modale est donnée notamment p23 avec 71,2 % pour la voiture, soit environ **591 Md voy.km**.
 - Courte distance : 8 881 km par an et par personne en local (p174) multipliés par la 56,2 millions de personnes (p28), et par la part modale de la voiture en local de 83 % (p15), soit environ **414 Md voy.km**.
 - Longue distance : environ $591 - 414 = 177$ Md voy.km (peut se retrouver en estimant à partir des distances moyennes et des parts modales).
- ✓ **Nombre de km par trajet** :
 - Au total, $591 / 37,5 = 15,8$ km par trajet en moyenne ; **298 km** pour la longue distance (p161) ; **10,3 km** pour la courte distance ([URF 2018](#) ; p80). Chiffres différents de quelques pourcents en calculant avec les chiffres ci-dessus (304 LD, et 11,2 km CD)
- ✓ **Vitesses moyennes** :
 - Une vitesse moyenne de 36,6 km/h pour les trajets locaux est donnée pour l'ENTD 2008 par la publication ([URF 2018](#), p80) ; la publication ([UIC-Systra 2016](#), p67) donne en moyenne 450 km et 360 minutes pour les déplacements longue distance, soit une vitesse moyenne de 75 km/h. Cela permet de calculer le temps total passé en voiture chaque année, et à partir des voy.km de calculer une vitesse moyenne de **43,2 km/h**.
- ✓ **Calcul des émissions** :
 - Emissions totales : pour le calcul des émissions, on sait que les émissions de CO₂ par an et par personne sont de 1 367 et 565 kgCO₂ respectivement pour la courte et la longue distance (p174) ; que la population considérée est de 56,2 M de personnes (p28) ; que la voiture représente 96 % des émissions de la mobilité locale et 56 % pour la mobilité longue distance ; soit au total environ **91,5 MtCO₂**.
 - Emissions par kilomètre : **177 gCO₂/voy.km** pour les trajets locaux et **105** pour la longue distance (p170). En pondérant par les trafics, on obtient une moyenne de **155 gCO₂/voy.km** pour l'ensemble des trajets en voiture. Ces chiffres correspondent aux émissions directes seulement (hors production de l'énergie) et datent de 2008, mais les ordres de grandeur sont tout à fait cohérents avec d'autres estimations plus récentes qui comptent la production de l'énergie en amont + la combustion de l'énergie, ainsi il a été choisi de garder ces chiffres. (pour creuser le sujet, voir notamment les chiffres de l'[ADEME](#), le guide du [MTES](#) pour la prise en compte de l'amont, ou encore les chiffres du [CITEPA](#) pour des estimations plus récentes des émissions directes du parc de véhicules)
 - Emissions par heure : en divisant les émissions totales (91,5 MtCO₂) par le nombre d'heures en voiture (13,7 Md) ou en multipliant les émissions unitaires (155 gCO₂/voy.km) par la vitesse moyenne des trajets (43,2 km/h), on trouve des émissions moyennes de **6,7 kgCO₂ par heure** de trajet en voiture.

- Emissions par trajet : en divisant les émissions totales (91,5 MtCO₂) par le nombre de trajets (37,5 Md) ou en multipliant les émissions unitaires (155 gCO₂/voy.km) par la distance moyenne des trajets (15,8 km), on trouve des émissions moyennes de **2,4 kgCO₂ par trajet** en voiture par personne.

Avion

Les données pour l'aérien sont comme pour la voiture celles de l'enquête nationale transports déplacements (ENTD) réalisée en 2008 (pages du PDF [CGDD 2010](#) citées ci-dessous pour la référence des chiffres. Cette enquête permet d'avoir une description fine des déplacements des français, en la différenciant ainsi de l'ensemble du trafic aérien en France, dont une partie importante est réalisée par des étrangers étant donné la part importante de l'international pour ce mode.

✓ Nombre de km par trajet :

- Il est indiqué que la distance moyenne d'un trajet en avion est de **2428 km** (p161), distance moyenne qui n'avait quasiment pas bougé entre 1994 et 2008 ; on trouve des chiffres similaires en divisant le nb total de voy.km en avion (12,2 % du total de 830 Md, soit 101 Md voy.km ; p23 et 165) par le nombre de trajets (20,6 M de voyages multipliés par deux pour prendre en compte les allers-retours ; p153).

✓ Vitesses moyennes :

- Aucun chiffre de vitesse ni de temps de trajet n'est indiqué. Alors que la vitesse de croisière des avions est généralement autour de [800-900 km/h](#), il est ici considéré une vitesse moyenne de **700 km/h** pour tenir compte de la vitesse moyenne du vol qui est moins élevée, en particulier pour des trajets plus courts, en raison du temps lié aux trajectoires et aux moindres vitesses de décollage et d'approche des aéroports. Par exemple, un vol Paris-Brest prend environ [1h10](#) pour une distance de [515 km](#), soit une vitesse moyenne de 440 km/h.
- Pour l'aérien comme pour les autres modes, les temps de transport liés à l'accès à l'aéroport, à l'enregistrement, à l'attente ou encore à la descente de l'avion jusqu'à la destination finale ne sont ici pas pris en compte pour le calcul de la vitesse moyenne. Les prendre en compte diminuerait significativement la vitesse moyenne de l'aérien, en particulier pour les courts trajets.

✓ Calcul des émissions :

- Emissions totales : les émissions de CO₂ par an et par personne sont de 565 kgCO₂ pour la longue distance (p174) ; la population considérée est de 56,2 M de personnes (p28) ; l'avion représente 40 % des émissions de la mobilité longue distance ; soit au total environ **12,7 MtCO₂**. Les émissions totales de l'aérien (intérieur + international) sont de 20,4 MtCO₂ en 2016 ([CGDD](#)), chiffre bien plus élevé qui s'explique en partie par la croissance du trafic et probablement par une part des émissions attribuable aux étrangers.
- Emissions par kilomètre : le rapport de l'ENTD prend en compte des émissions directes de **128 gCO₂/voy.km** pour les trajets en avion (p170). Cela est moins élevé que les chiffres de l'[ADEME](#) qui indiquent des émissions de 144,6 g pour les distances nationales et 241,5 g pour les trajets régionaux. Cela s'explique par le fait que les trajets les plus courts ont des émissions plus fortes en raison des phases de décollage et d'atterrissage qui sont fortement émettrices par km, en comparaison à la croisière. Aussi l'[ADEME](#) prend également en compte les émissions liées à la production de l'énergie en amont, et pas seulement la combustion comme le fait l'ENTD. Il faudrait donc réévaluer à la hausse le chiffre de 128 g, de l'ordre de + 21% (2,545 kgCO₂ pour la combustion d'1L de kérosène, 3,075 avec amont + combustion ; [MTES](#), p118). Mais un autre effet vient compenser cette réévaluation à la hausse, ce sont les gains d'efficacité énergétique depuis 2008. Pour l'année 2016, les chiffres de

la DGAC ([CGDD](#), tableau D1.a) indiquent des émissions de 102,2 gCO₂/voy.km en moyenne, dont 134,6 pour les trajets en métropole. Le gain d'efficacité énergétique par voyageur.km est de l'ordre de -20 % entre 2008 et 2016. Au final, les 2 effets se compensent à peu près, il a donc été choisi de garder le chiffre de 128 gCO₂, bien que la figure prenne ici en compte les émissions de la production et de la combustion de l'énergie. Enfin, on peut rappeler que les émissions de CO₂ ne représentent que la moitié voire un tiers du forçage radiatif de l'aérien (cf article).

- Emissions par heure : en divisant les émissions totales (12,7 MtCO₂) par le nombre d'heures en voiture (145 M) ou en multipliant les émissions unitaires (128 gCO₂/voy.km) par la vitesse moyenne des trajets (700 km/h), on trouve des émissions moyennes d'environ **90 kgCO₂ par heure** de trajet en avion.
- Emissions par trajet : en divisant les émissions totales (12,7 MtCO₂) par le nombre de trajets (41 M) ou en multipliant les émissions unitaires (128 gCO₂/voy.km) par la distance moyenne des trajets (2428 km), on trouve des émissions moyennes de l'ordre de **310 kgCO₂ par trajet** en avion par personne. Un aller-retour moyen en avion (620 kg) représente donc 32 % des émissions annuelles des transports d'un français (1932 kg/pers/an en moyenne) en 2008.

Pour toute question ou commentaire, n'hésitez pas à me contacter à l'adresse

aurelien.bigo@hotmail.fr