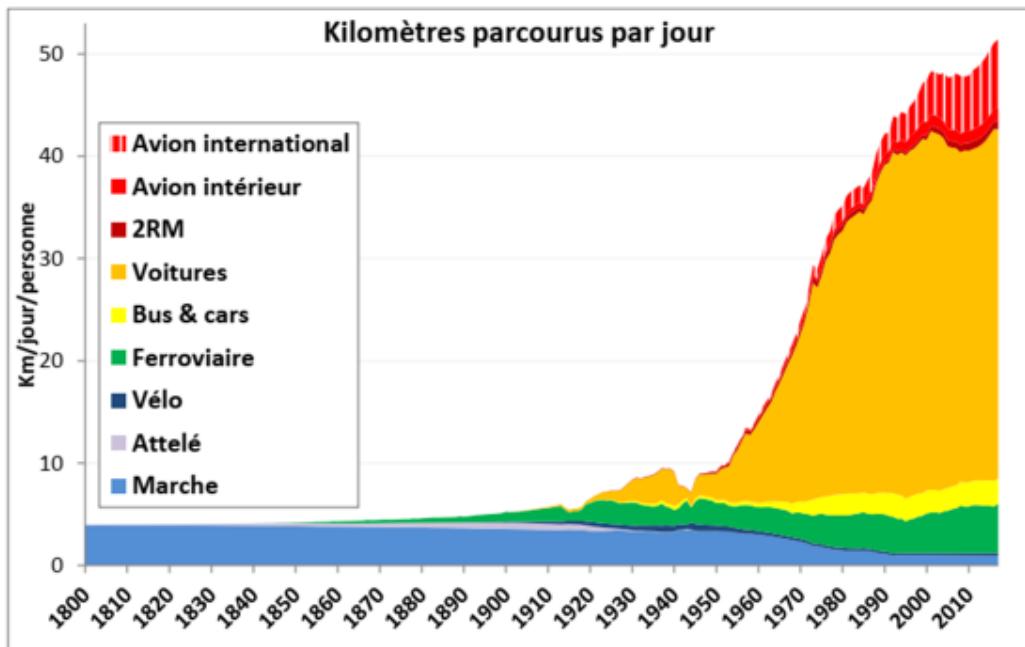


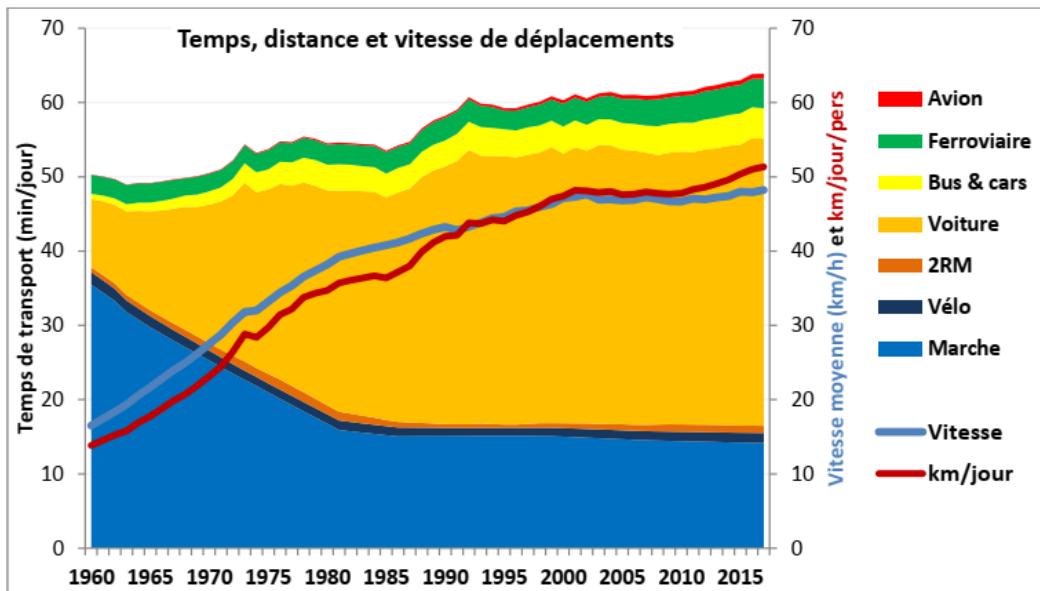
Annexe 2

Evolution des durées et distance parcourues par jour en France



[Utilisé avec l'autorisation de Aurélien Bigo]¹

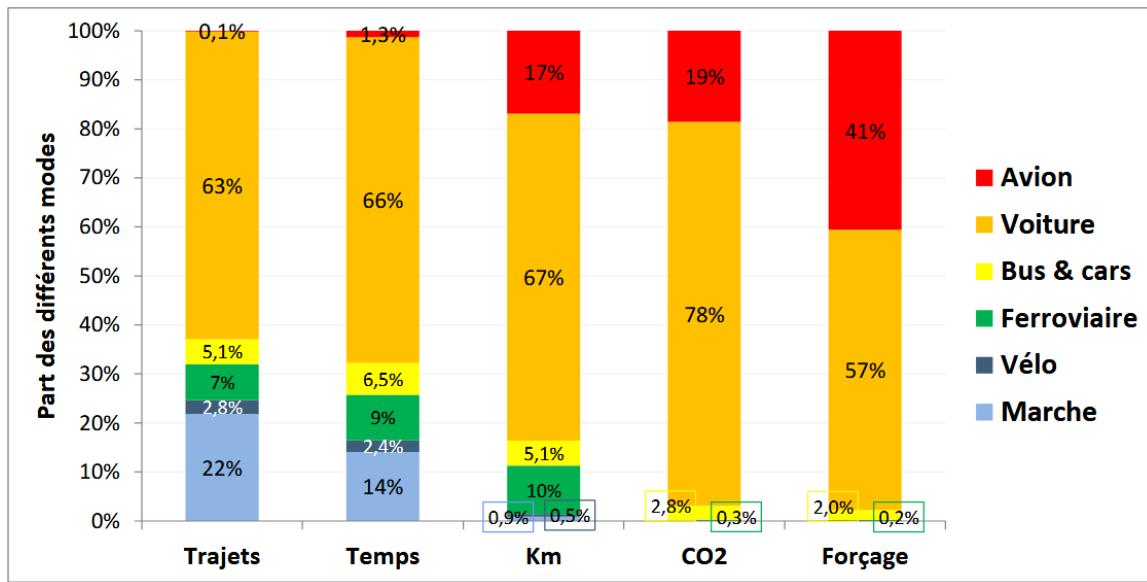
Figure 4 : Estimation du nombre de kilomètres parcourus par jour et par personne en France entre 1800 et 2017.¹



[Utilisé avec l'autorisation de Aurélien Bigo]¹

Figure 5 : Estimation des temps de déplacements par mode de déplacement entre 1960 et 2017.¹

¹ « [Les transports face au défi de la transition énergétique](#) », Thèse A. Bigo (2020)



[Utilisé avec l'autorisation de Aurélien Bigo]¹

Figure 6 : Estimation de la part des modes de transports en 2017 selon différents critères.¹

Émissions de CO₂ et polluants atmosphériques par le transport routier

Ce qu'on appelle communément « les NOx » comprend le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde d'azote (NO). Les NOx contribuent à l'acidification des eaux, à l'excès de retombées azotées (eutrophisation) et interviennent dans la formation des oxydants photochimiques (ozone troposphérique). Le NO₂ a de plus des impacts directs sur la santé humaine : il irrite les voies respiratoires et augmente plusieurs risques (cancers, maladies cardiovasculaires, asthme, etc...). Attention à ne pas le confondre avec N₂O qui n'est pas directement nocif mais est un gaz à effet de serre.

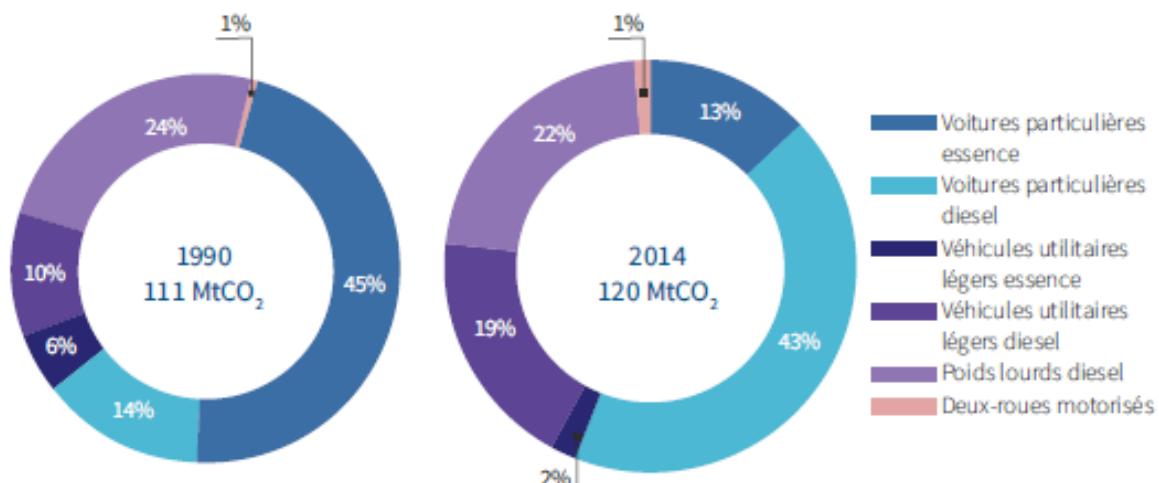
En 2019, le transport routier était responsable de plus de la moitié des émissions de NO₂ (58 %), loin devant l'industrie manufacturière (13 %) et l'agriculture (14%)². Malgré une réduction des teneurs en NO₂ dans les dernières décennies, 19 % des stations de mesure situées à proximité du trafic routier enregistraient en 2019 des dépassements des seuils réglementaires.

Les particules fines (PM10 et PM2,5) ont aussi des impacts sur la santé : elles sont classées comme cancérogènes pour l'homme et peuvent causer des maladies respiratoires et cardiovasculaires. Malgré une diminution de la teneur en particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10) sur la période 2007-2019, la concentration en PM10 reste 1,3 fois plus élevée à proximité du trafic routier qu'en fond urbain. En 2019, 1,3 % des stations de mesure situées à proximité du trafic routier ne respectent pas le seuil journalier en PM10 pour la protection de la santé.

Le transport routier est le mode de transport le plus émetteur de polluants dans l'air : il représente entre 65 et 100 % de l'ensemble des émissions des transports selon les polluants. Il est le premier émetteur d'oxydes d'azote (NOx), de cuivre (Cu), de zinc (Zn) et de carbone de suie (BC). Pour les particules, la part du transport routier est plus importante pour celles de petites tailles : 16 % pour les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM2,5).

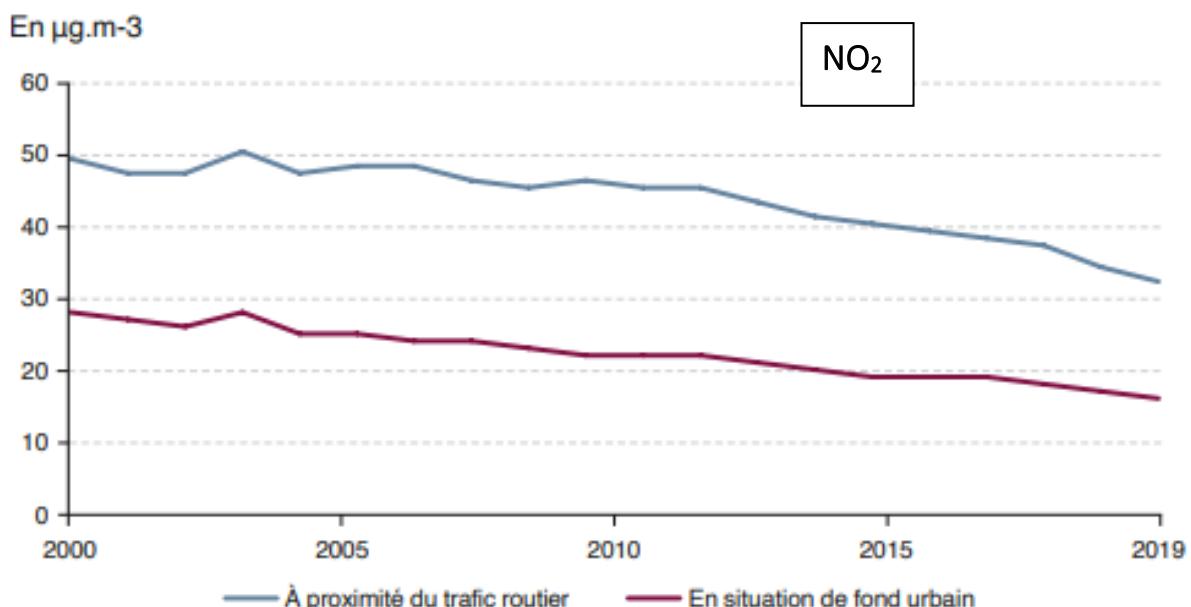
² « [Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2020](#) », CITEPA, juillet 2021

Répartition des émissions de CO₂ du transport routier



Source : CITEPA - « Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France (format SECTEN) » - avril 2016
Champ : France métropolitaine

Figure 7 : Répartition des émissions de CO₂ du transport routier³



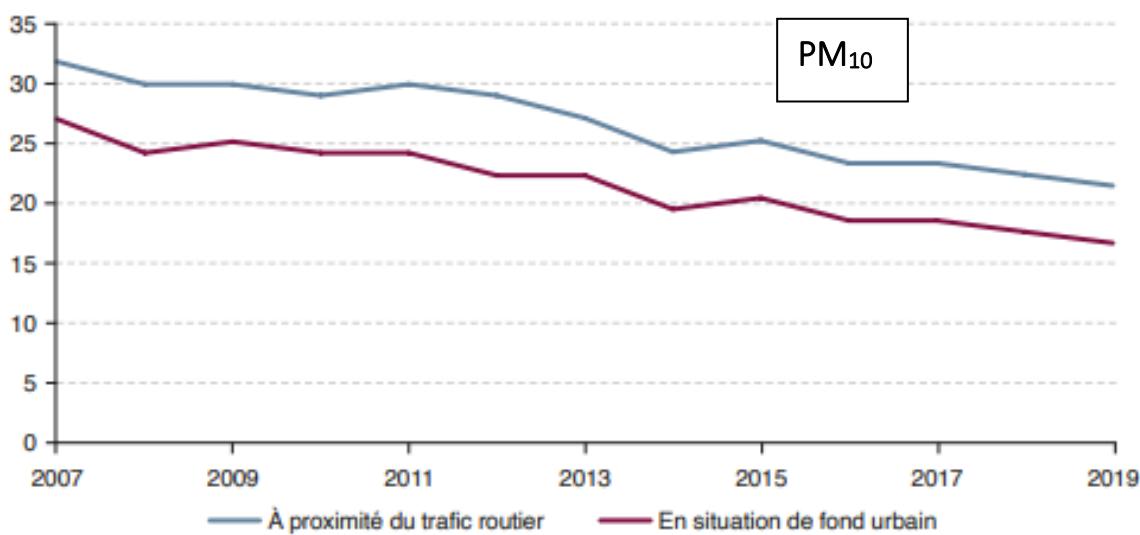
[Utilisé avec l'autorisation de Ministère de la Transition Ecologique]⁴

Figure 8 : Evolution des concentrations annuelles en NO₂ dans l'air⁴. Le « fond urbain » (courbe du bas) correspond à des mesures en zone urbaine mais loin des sources directes d'émissions.

³ Graphe réalisé par l'ADEME à partir des données du CITEPA : « [Inventaires des émissions de polluants atmosphériques et de Gaz à effet de serre en France \(format SECTEN\)](#) », avril 2016.

⁴ « [Chiffres clés des transports – Édition 2022](#) », Ministère de la Transition Ecologique, 2022

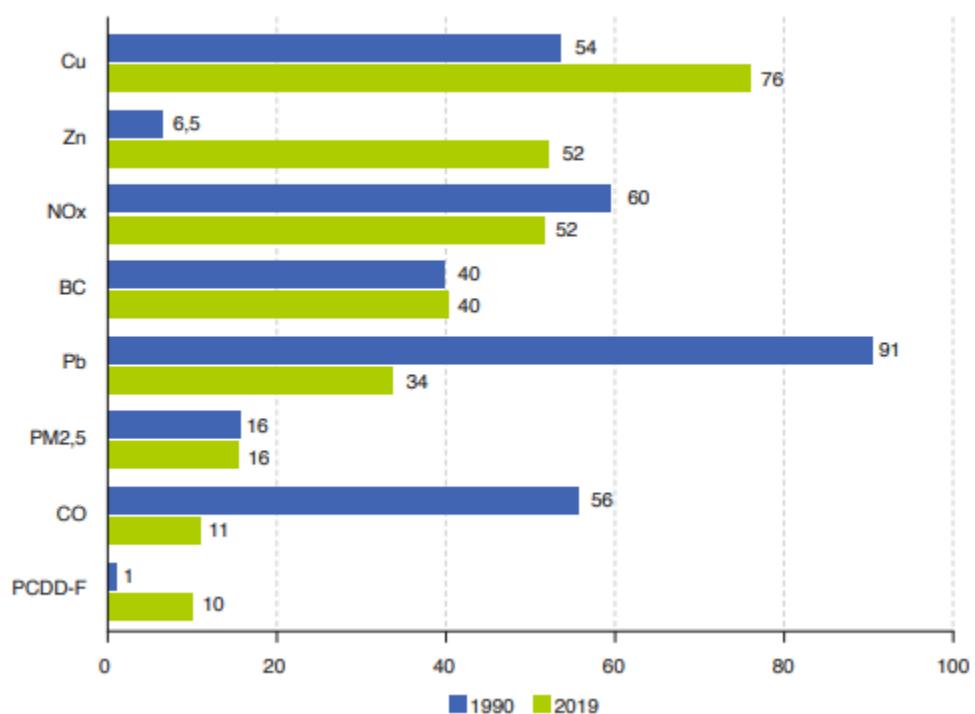
En $\mu\text{g.m}^{-3}$



[Utilisé avec l'autorisation de Ministère de la Transition Ecologique]⁴

Figure 9 : Evolution des concentrations annuelles en PM10 dans l'air⁴. Le « fond urbain » (courbe du bas) correspond à des mesures en zone urbaine mais loin des sources directes d'émissions.

En %



[Utilisé avec l'autorisation de Ministère de la Transition Ecologique]⁴

Figure 10 : Part du transport routier dans les émissions totales de polluants⁴

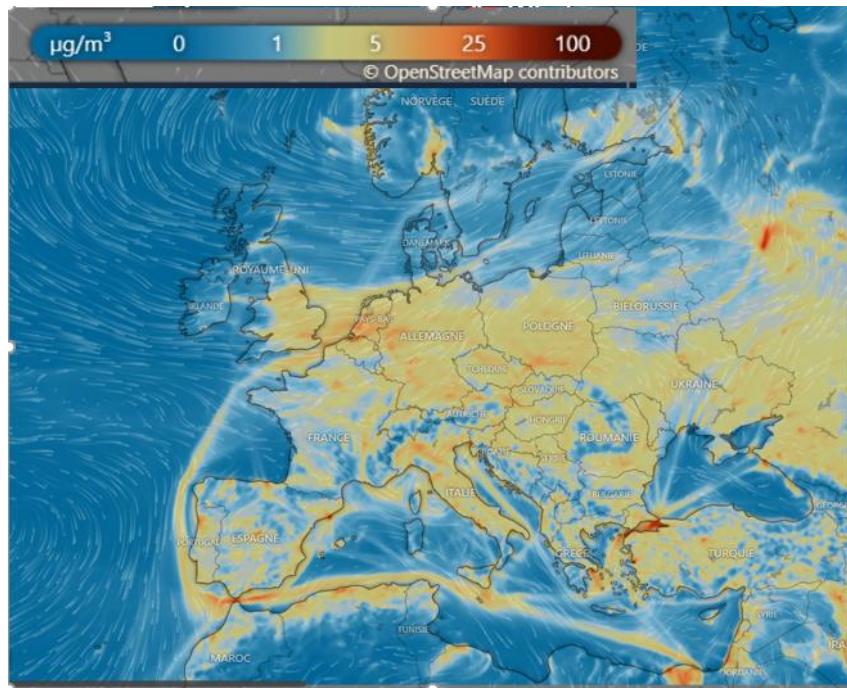


Figure 11 : Evolution du NO₂ dans l'atmosphère européenne : le 3 juillet 2023 à 3h 15h [Données obtenus sur le site windy.com]. On notera les voies de transports maritimes et une alternance entre la pollution la journée et la nuit qui s'explique par une réaction entre la lumière du soleil et les oxydes d'azote.

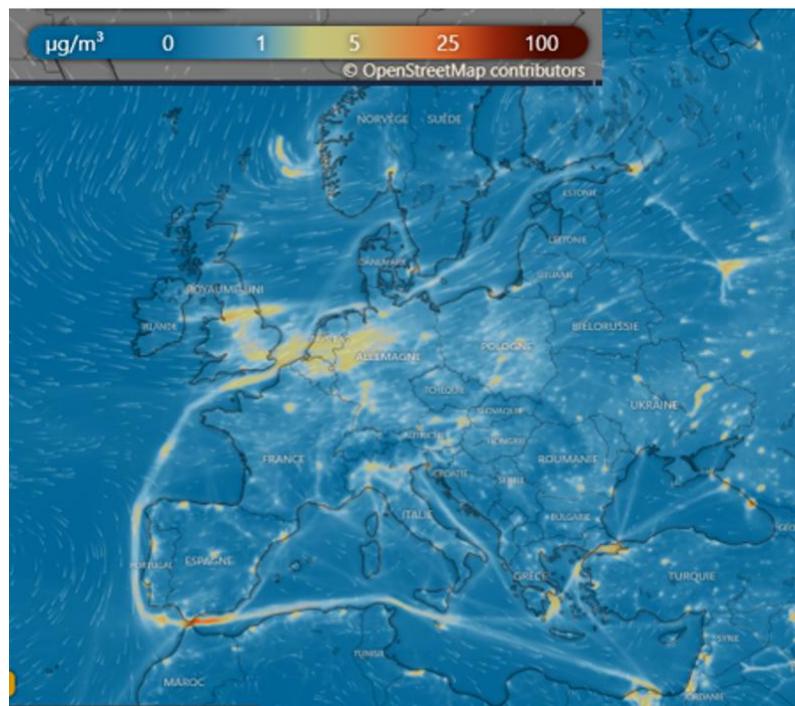


Figure 12 : Evolution du NO₂ dans l'atmosphère européenne le 3 juillet 2023 à 15h [Données obtenus sur le site windy.com]. On notera les voies de transports maritimes et une alternance entre la pollution la journée et la nuit qui s'explique par une réaction entre la lumière du soleil et les oxydes d'azote.

Origines des particules fines dans le transport terrestre⁵

Alors que les émissions de particules à l'échappement ont très nettement baissé avec la généralisation des filtres à particules, celles hors échappement provenant de l'abrasion des freins, des pneumatiques et des chaussées deviennent prépondérantes et représentent en France en 2019, plus de la moitié des particules émises par les transports routiers. Si les véhicules électriques, grâce au freinage régénératif, émettent moins de particules de frein que les véhicules thermiques, elles émettent plus de particules provenant du contact pneu-chaussée et de la remise en suspension, du fait de la plus grande taille de leur pneumatique due à leur masse plus importante.

Ainsi, les études récentes ne montrent pas un écart significatif d'émissions totales de particules entre les véhicules électriques à forte autonomie et les véhicules thermiques neufs actuels, qui n'émettent quasiment plus de particules à l'échappement. En revanche, dans le détail, les voitures thermiques émettent des oxydes d'azote et des composés organiques volatils, ce qui n'est pas le cas des véhicules électriques qui n'en émettent aucun.

Afin de réduire la pollution par les particules liées au trafic routier, il est donc indispensable d'associer à l'électrification du parc, d'autres pratiques pouvant faciliter l'atteinte de la neutralité carbone ayant des co-bénéfices sur les PHE : allégement des véhicules, développement de l'éco-conduite et des modes actifs...

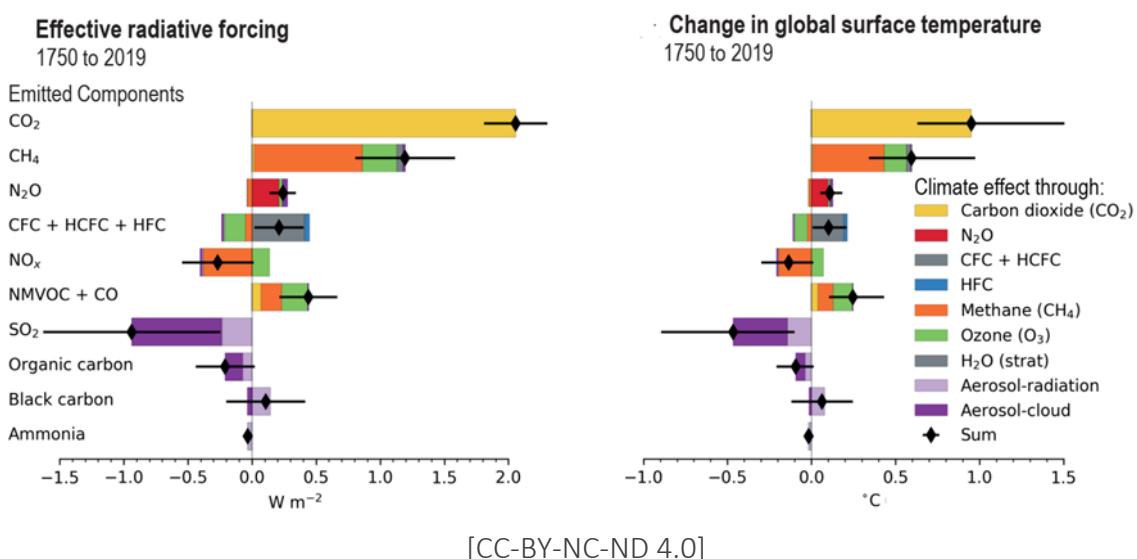


Figure 12 Contribution au forçage radiatif effectif (gauche) et à l'évolution de la température moyenne de l'air à la surface du globe (GSAT, droite) de différents composés atmosphériques. Le forçage radiatif a été calculé entre 1750 et 2019 à partir de modèles climatiques (GIEC⁶, 2021). « CFC + HCFC+HFC » fait référence aux gaz fluorés « NMVOC » signifie « non-methane volatile organic compound ». La liste de gauche correspond aux composés émis, et la liste de droite la liste des composés ou mécanismes responsables du changement de forçage radiatif. Par exemple, dans le cas des émissions de NOx, c'est en fait le méthane qui est *in fine* responsable de l'effet des NOx sur le climat, en raison de réactions chimiques entre les NOx et le méthane dans l'atmosphère (les NOx dégradent le méthane). L'effet des particules fines de différente nature est représenté dans le graphe de droite sous le label « aerosol ». Les deux labels aerosol-cloud et aerosol-radiation correspondent à deux mécanismes différents par lesquelles les particules fines modifient le forçage radiatif.

5 « Plus de la moitié des particules fines émises par les véhicules routiers récents de proviennent plus de l'échappement », billet de l'ADEME (2022)

⁶ Rapport AR6, WGI GIEC (2021). Figure TS.15 issu du résumé technique.

Effet refroidissant des particules fines

Pour comparer les effets des composants de l'atmosphère sur le changement climatique, on utilise le concept de forçage radiatif. Exprimée en watts par mètre carré (W/m²), cette grandeur correspond à la différence entre l'énergie radiative reçue par un système climatique et celle qu'il réemet. Un forçage positif induit un réchauffement de l'atmosphère, tandis qu'un forçage négatif induit un refroidissement.

Les gaz à effet de serre provoquent un forçage positif en absorbant le rayonnement infrarouge tellurique (émis par la Terre), alors que la plupart des particules entraînent globalement un forçage négatif (voir la Figure 12).

Effet des baisses de PM2.5 et NO₂ dues aux confinements (COVID) sur la santé.

Les deux paragraphes qui suivent ont été extrait d'un rapport de Santé Publique France⁷. Le deuxième a été légèrement re-écrit pour synthétiser les informations.

Les bénéfices des baisses de la pollution de l'air ambiant observées durant le premier confinement au printemps 2020 peuvent être estimés à environ 2 300 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition de la population française aux particules fines (PM2.5), et à environ 1 200 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition au dioxyde d'azote (NO₂).

Chaque année, 40 000 décès sont attribuables à une exposition de la population aux PM2.5. Pour les personnes âgées de 30 ans et plus, une exposition aux PM2.5 réduit de près de 8 mois leur espérance de vie. 7 % de la mortalité annuelle est attribuable à une exposition aux PM2.5 pour les personnes âgées de 30 ans et plus.

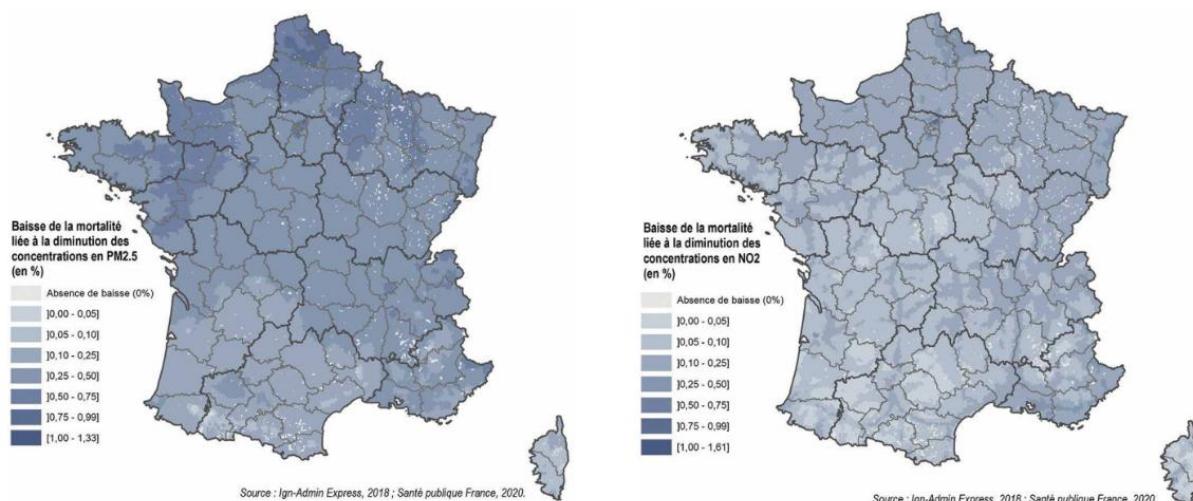


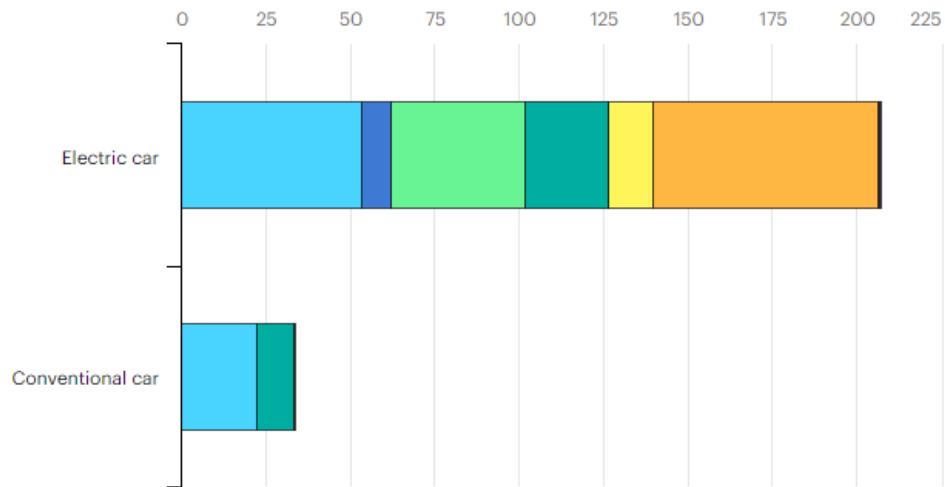
Figure 13 : Impact de la diminution des concentrations en PM2.5 et NO₂ sur la mortalité annuelle à l'échelle communale du 1er juillet 2019 au 30 juin 2020 en France métropolitaine (en %)⁷.

Véhicule électrique et demande en métaux.

Les véhicules électriques et le stockage par batterie ont déjà supplanté l'électronique grand public pour devenir le plus grand consommateur de lithium et devraient remplacer l'acier inoxydable en tant que plus grand utilisateur final de nickel d'ici 2040.

⁷ « [Impact de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine](#) », Santé Publique France, Avril 2021

kg/vehicle



[IEA, Licence: CC BY 4.0]

● Copper ● Lithium ● Nickel ● Manganese ● Cobalt ● Graphite ● Zinc
● Rare earths ● Others

[Licence : CC BY 4.0]

Figure 14 Comparaison des métaux utilisés dans une voiture électrique et dans une voiture thermique. L'acier et l'aluminium, qui composent la structure et sont communs aux deux véhicules, sont exclus du graphique⁸.

⁸ « [Minerals used in electric cars compared to conventional cars](#) », IEA. 2021