Rapport **Secten** éd. 2025

Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France | 1990-2024

Citepa

Sommaire

Messages clés 3
Comprendre les données 19
Gaz à effet de serre 38
Contexte politique climat 47
CO_2e | Gaz à effet de serre en équivalent CO_2 106
CO_2 | Dioxyde de carbone 122
CH_4 | Méthane 132
N_2O | Protoxyde d'azote 143
GF | Gaz fluorés 151
Polluants atmosphériques 166
Politiques air 166
Acidifiants, eutrophisants et polluants photochimiques 205
Métaux lourds 243
POP | Polluants organiques persistants 285
PM | Particules 322
Production d'énergie 361
Industrie manufacturière et construction 384
Usage des bâtiments et activités résidentielles et tertiaires 417
Agriculture 436
Transports 454
Gestion centralisée des déchets 487
Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Forêt 503
Émissions naturelles 515
Annexes 522

Pour citer ce document :

Citepa, 2025. Rapport Secten – Emissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques 1990-2024.

Rédaction

Coordination du rapport | Ariane DRUART, Sarah URBANO

Base de données principale et graphiques | Ariane DRUART

Données complémentaires | Corentin VANCAYSEELE, Thamara VIEIRA DA ROCHA,

Rédaction : Jean-Marc ANDRÉ, Stéphanie BARRAULT, Grégoire BONGRAND, Tamara BRAISH, Éponine BRIER, Benjamin CUNIASSE, Etienne DELORT, Ariane DRUART, Anaïs DURAND, Lisa GRELLIER, Jonathan HERCULE, Fanny JOUBERT, Mélanie JUILLARD, Vincent MAZIN, Adrien MERCIER, Sophie MOUKHTAR EL DEMERDACHE, Niels MONTANARI, Mathis PASTORELLI, Sophie SANCHEZ, Adélaïde TRESARRIEU, Mark TUDDENHAM, Sarah URBANO, Corentin VANCAYSEELE, Thamara VIEIRA DA ROCHA, Shouwen ZHANG

Validation : Nadine ALLEMAND, Jean-Pierre CHANG, Etienne MATHIAS

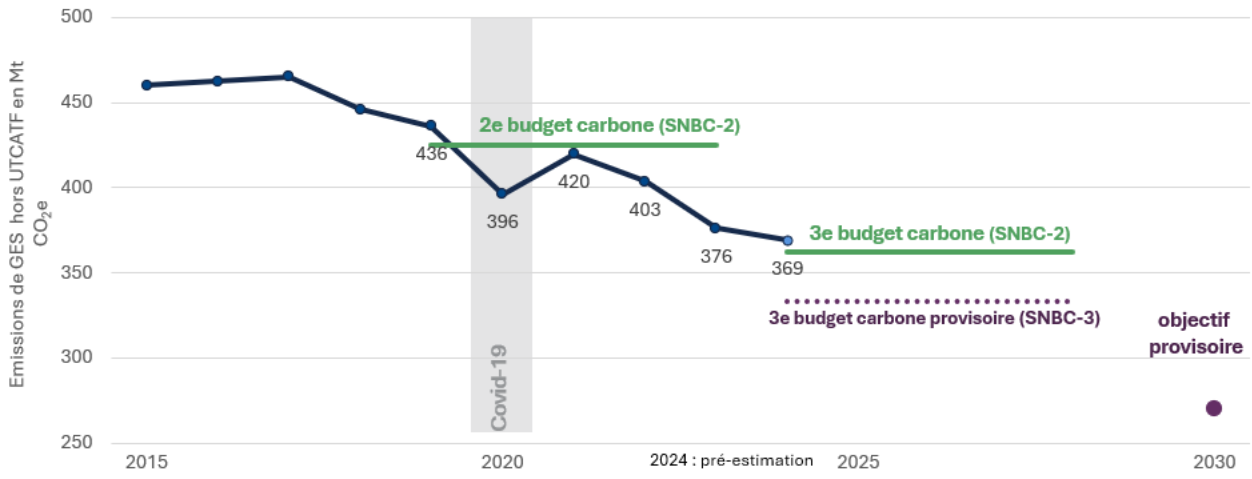
Messages clés

Le rapport Secten est un rapport publié chaque année par le Citepa, association en charge des inventaires d'émissions nationaux. Il présente les derniers niveaux d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France, et leur évolution depuis 1990. L'édition 2025 propose une pré-estimation des émissions pour 2024.

L'essentiel

Les **émissions de gaz à effet de serre [GES] en France poursuivent leur trajectoire de réduction**. **En moyenne entre 2019 et 2023, hors puits de carbone, elles s'élèvent à 406 MtCO_2e/an**, ce qui est **en dessous du 2nd budget carbone ajusté[1] de 425 Mt CO_2e /an, budget en vigueur (SNBC-2) pour la période**. En prenant en compte l'UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie), les émissions de GES en France s'élèvent en moyenne à 370 Mt CO_2e /an, pour un budget ajusté de 380 Mt CO_2e /an pour la période 2019-2023. Hors puits de carbone, elles ont diminué entre 2022 et 2023 de 27,4 Mt CO_2e, soit de 6,8% et **tous les grands secteurs émetteurs participent à cette réduction :** -7Mt pour l'industrie de l'énergie, -7,2 Mt pour l'industrie manufacturière, -5,6 Mt pour les transports, - 6,9 Mt pour les bâtiments et -0,5 Mt pour l'agriculture.

D'après cette nouvelle estimation[2], **les émissions de GES diminuent en 2024, mais de façon plus faible qu'entre 2022 et 2023**, avec une réduction de 1,8% par rapport à 2023, soit -6,9 Mt CO_2e (hors puits de carbone). C'est le secteur de l'industrie de l'énergie qui enregistre la plus forte baisse, de 10,2% par rapport à 2023. En revanche, après une baisse de presque 7 MtCO_2e (- 10,7%) entre 2022 et 2023, les émissions de GES associées à l'usage des bâtiments diminuent de seulement 0,4 Mt CO_2e (-0,7%) entre 2023 et 2024.



Emissions de GES hors puits de carbone et budget carbone

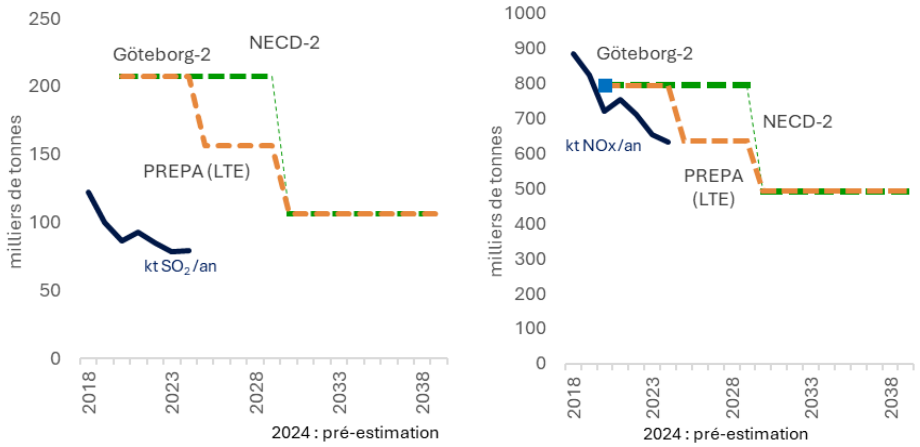
Les **émissions de la plupart des polluants atmosphériques suivent également une tendance à la baisse** en 2024 par rapport à 2020, c'est le cas du dioxyde de soufre [**SO_2**] (-8% ; -6,6 kt), des oxydes d'azote [**NOx**] (-13% ; -76,0 kt / émissions ajustées[3]), des particules fines de diamètre inférieur à 2,5 micromètres [**$PM_{2,5}$**] (-11% ; -20,4 kt) et des composés organiques volatils non-méthaniques [**COVNM**] (-6% ; 43,3 kt / émissions ajustées). Les émissions de SO_2, NOx, $PM_{2,5}$ et COVNM s'élèvent respectivement en moyenne à 84 kt/an, 556 kt/an (émissions ajustées), 173 kt/an et 662 kt/an (émissions ajustées) sur la

[1] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten édition 2025).

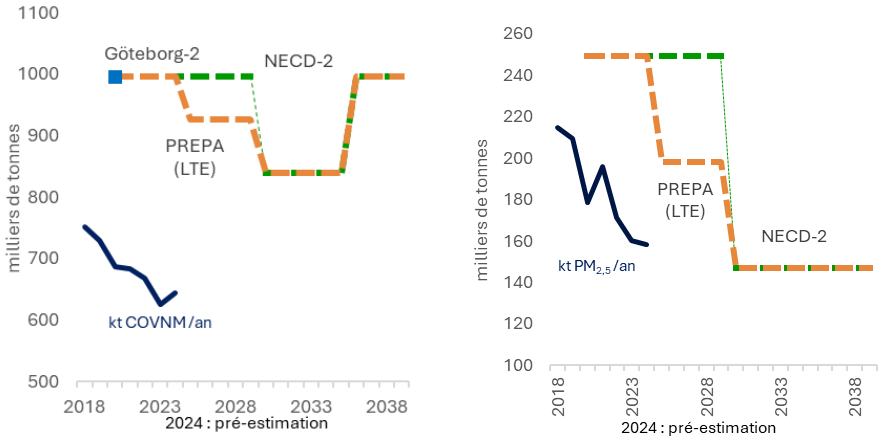
[2] Les émissions consolidées pour 2024 seront proposées dans l'inventaire prochain – Il s'agit ici de l'estimation réalisée à partir de l'inventaire proxy dans le cadre du rapport Secten (méthodologie d'estimation plus complexe que le baromètre).

[3] Les émissions ajustées correspondent aux émissions totales auxquelles sont retirées les émissions du secteur agricole associées à l'élevage et des cultures (à l'exception du brûlage des résidus agricoles)

période 2020-2024, ce qui est inférieur pour l'ensemble des substances aux objectifs définis dans le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques [PREPA].



Emissions de SO_2 et de NOx en France (Métropole)



Emissions de COVNM et PM2.5 en France (Métropole)

Messages clés | gaz à effet de serre

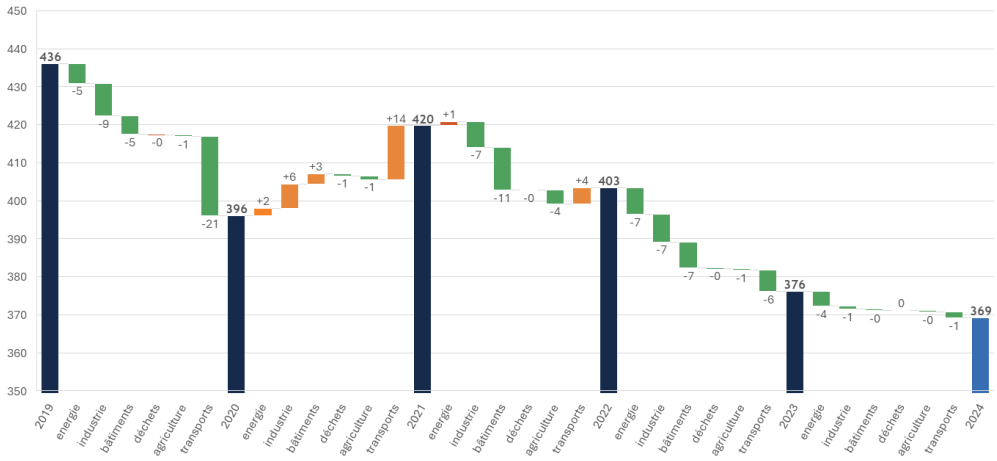
Baisse des émissions de 1,8% en 2024

En France (France métropolitaine et territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE), les émissions territoriales de GES, hors puits de carbone, ont **baissé de -1,8% (-6,9 Mt CO_2e)** entre 2023 et 2024. Elles sont passées de **376 Mt CO_2e en 2023 à 369 Mt CO_2e en 2024**. Ramenées au nombre d'habitants, elles passent de 5,5 tCO_2e/habitant à 5,4 t.

Tous les grands secteurs participent à la baisse de 6,9 Mt CO_2e, mais ce à un niveau nettement différent : - 3,8 Mt pour l'industrie de l'énergie, -0,9 Mt pour l'industrie manufacturière, -1,5 Mt pour les transports, -0,4 Mt pour les bâtiments et -0,4 Mt pour l'agriculture. L'évolution 2023-2024 du secteur des déchets (4% des émissions totales) et celle de l'UTCATF (Utilisation des Terres, Changements d'affectation des Terres et Forêt) ne sont pas encore pré-estimées spécifiquement, faute d'indicateurs fiables.

Si l'on distingue gaz par gaz, les émissions de CO_2 hors UTCATF se sont réduites, entre 2023 et 2024, de 6,1 Mt (- 2,2%) ; celles de méthane (CH_4) de 903 ktCO_2e (-1,5%) et celles de protoxyde d'azote (N_2O) ont augmenté de 71 ktCO_2e (+0,3%) en lien avec la hausse des livraisons d'engrais minéraux.

Après un plateau relatif dans les années 1990 jusqu'en 2005, une diminution irrégulière de 2006 à 2014, puis une période de lente ré-augmentation des émissions entre 2014 et 2017, les émissions de GES connaissent une dynamique de réduction plus marquée depuis 2018, sans compter l'effet temporaire du Covid (baisse de 9,2% en 2020 et rebond de 6% en 2021).



Evolutions des émissions de GES entre 2019 et 2024 (Mt CO_2e)

Électricité : croissance continue de la production décarbonée

La production d'électricité française atteint son plus haut niveau depuis 5 ans (539 TWh). Elle retrouve ainsi un niveau supérieur à celui de 2019 et conforme à la moyenne 2014-2019 (537,5 TWh). Par ailleurs, la **baisse de la sollicitation des moyens de production fossile s'est poursuivie en 2024**, en particulier s'agissant des centrales à gaz (-11,8 TWh, -40,4%), en raison essentiellement de la poursuite du redressement de la production nucléaire (+41,3 TWh, +12,9%) et d'une forte production hydraulique (+16,2 TWh, +27,5%). Ainsi, les émissions de GES de la production d'électricité ont continué de diminuer fortement en 2024 (-3,5 Mt CO_2e, - 25,2% en comparaison avec 2023), après le haut niveau d'émissions de 2022 et bien que la production d'électricité ait significativement augmenté (+43,7 TWh, 8,9%).

En 2023, deux facteurs expliquaient la baisse des émissions du secteur de l'industrie de l'énergie : la hausse de la production d'électricité bas-carbone et la poursuite de la baisse de la consommation d'électricité. L'année 2022 avait été marquée par un manque de disponibilité de plusieurs centrales nucléaires. En 2023, ces centrales avaient progressivement repris leur activité. Entre 2019 et 2023, le niveau d'émissions du secteur s'est en moyenne élevé à 42 $MtCO_2e$ par an, en phase avec le budget carbone de la SNBC-2 de 48 $MtCO_2e$. La SNBC-2 prévoit d'atteindre environ 30 $MtCO_2e$ à horizon 2030 ; et 27 $MtCO_2e$ selon les trajectoires prévisionnelles publiées dans le projet de SNBC 3 mis en concertation en novembre 2024[4].

Usage des bâtiments résidentiels et tertiaires : léger infléchissement des émissions pré-estimées pour 2024

Les émissions de GES du secteur des bâtiments sont principalement liées à l'usage de combustibles fossiles pour le chauffage résidentiel et tertiaire. En dépit d'un ralentissement de la baisse des émissions de ce secteur sur 2024, le secteur résidentiel-tertiaire atteint, avec 57,1 Mt CO_2e, le niveau d'émissions de GES le plus bas depuis 1990. **Les émissions diminuent de 0,4 Mt CO_2e par rapport à 2023, faisant suite à une baisse de 7 Mt CO_2e entre 2022 et 2023**.

Entre 2019 et 2023, les émissions de GES s'élèvent en moyenne à 70 Mt CO_2e par an, niveau bien inférieur au budget carbone défini par la SNBC-2 de 81 Mt CO_2e.

La baisse observée ces dernières années est expliquée par la moindre consommation de combustibles fossiles pour le chauffage résidentiel et tertiaire. Une multitude de facteurs peuvent en être à l'origine, dont notamment :

- **le changement progressif du mode de chauffage dans le résidentiel** : la part des énergies fossiles dans les consommations relatives au chauffage résidentiel passe de 51% à 43% entre 2019 et 2023, et notamment celle du fioul domestique de 14% à 11%[5] ;
- **les conditions météorologiques** : l'hiver de 2023 a été en moyenne plus doux que celui de 2019 (baisse de l'indice de rigueur de 8%). Corrigée des variations climatiques, la diminution des émissions entre 2019 et 2023 pour le secteur atteint -17,9 Mt CO_2e (-22%), contre -20,4 Mt CO_2e à climat réel.

[4] https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr/sites/default/files/2024-11/20241031%20Projet%20de%20SNBC%203%20-%20concertation%20prealable-vF.pdf

[5] Cf. Consommation énergétique du secteur résidentiel par usage - Sdes

Transport routier : la lente réduction du premier secteur émetteur

Le transport routier est le premier émetteur de GES en France, avec 117 Mt CO_2e en 2024, soit près d'un tiers des émissions totales. **La diminution estimée entre 2023 et 2024, de 1,2%, s'inscrit dans une tendance à la baisse depuis 2015** (0,5%/an en moyenne entre 2015 et 2019). En 2020, en raison de la limitation des déplacements lors de la pandémie de Covid-19, les émissions de ce secteur avaient baissé de 15%, suivi d'un rebond en 2021 et 2022.

En moyenne, entre 2019 et 2023, les émissions de GES pour le secteur des transports s'élèvent à 127 Mt CO_2e/an, ce qui est en-dessous du budget défini dans le cadre de la SNBC-2, de 129 Mt CO_2e par an.

Aérien : réduction des émissions des vols domestiques

Les émissions du transport aérien domestique ont connu plusieurs phases : une augmentation de 1990 à 2000 (4,6%/an), une diminution de 2001 à 2014 (-1,8%/an), une augmentation de 2015 à 2018 (+2,8%/an) jusqu'à la crise Covid de 2020 où le trafic a été très fortement impacté (-39% entre 2019 et 2020). Suite à la crise, 2021 et 2022 sont des années de reprise pour le trafic aérien domestique (23%/an en moyenne sur ces deux années). En revanche, les émissions pour l'année 2023 sont en baisse de 4,6% par rapport à l'année 2022 et pour l'année 2024 de 4,3% par rapport à 2023. Cette dynamique de réduction pourrait s'expliquer par l'augmentation progressive du taux d'incorporation de biokérosène ainsi qu'un moindre recours aux vols intérieurs par les Français (en lien avec la suppression des vols de courte durée - inférieure à 2h30 - si une alternative ferroviaire directe existe).

Les émissions du trafic aérien international (comptabilisées en dehors du total national) n'ont cessé d'augmenter de 1990 à 2019 (+2,6%/an). En 2020, avec la crise du Covid-19, la réduction massive des vols a entrainé une baisse de 57% des émissions par rapport à 2019. Depuis, le trafic croît de nouveau : en 2024, les émissions ont augmenté de 5% par rapport à 2023 mais restent 9% inférieures à celles de 2019.

Industrie : ralentissement de la baisse observée ces trois dernières années

La **tendance des émissions de GES à la baisse observée en 2023 (-10,2% par rapport à 2022) se ralentit en 2024**. Les émissions totales du secteur **diminuent de 1,4% entre 2023 et 2024**, ce qui s'explique principalement par la réduction des émissions dans le secteur de l'industrie minérale et des matériaux de construction (-5,9% par rapport à 2023, soit -0,9 Mt CO_2e). Cette baisse est en lien notamment avec les diminutions de la production industrielle (avec principalement -8% pour le ciment, et -14% pour le verre creux). Les émissions des secteurs de la chimie et de la construction sont estimées à la hausse entre 2024 et 2023, avec une augmentation de 0,1 MtCO_2e (respectivement +0,9% et +2,4%).

L'ensemble des sous-secteurs a réduit leurs émissions entre 2019 et 2023, avec une baisse totale des émissions pour le secteur de l'industrie de 20%, soit 16,3 Mt CO_2e. Les sous-secteurs de la métallurgie des métaux ferreux, de la chimie et des minéraux métalliques ont le plus contribué à cette baisse avec respectivement des réductions atteignant 5,1 Mt CO_2e (-31%), 3,4 Mt CO_2e (- 18%) et 3,3 Mt CO_2e (-17%). Les émissions des autres secteurs ont également diminué entre 5% et 31% sur cette même période. En moyenne, les émissions du secteur de l'industrie s'élèvent à 72 Mt CO_2e par an, ce qui est en dessous du budget carbone défini dans la SNBC-2 de 75 Mt CO_2e. À horizon 2030, ce secteur doit atteindre 55 MtCO_2e d'après la SNBC-2 et 45 MtCO_2e selon les trajectoires prévisionnelles publiées dans le projet de SNBC-3 mis en concertation en novembre 2024[6].

Agriculture : dynamique différenciée selon le gaz

Les **émissions de GES agricoles, au total, sont en recul de 0,5% entre 2023 et 2024** en lien avec la réduction des émissions de CH_4 et de N_2O. Les émissions agricoles sont à la baisse notamment sur le sous-secteur de l'élevage avec un repli de 1,6% pour les émissions de N_2O et de 1,9% pour les émissions de CH_4 entre 2023 et 2024, notamment en lien avec le recul du cheptel bovin et, dans une moindre mesure, avec le recul du cheptel porcin. Les émissions de CO_2 du secteur augmentent,

[6] https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr/sites/default/files/2024-11/20241031%20Projet%20de%20SNBC%203%20-%20concertation%20prealable-vF.pdf

quant à elles, de +4,8% en lien avec la hausse des livraisons d'engrais.

Principalement expliqué par le recul du cheptel bovin (- 9% entre 2019 et 2023 pour les vaches laitières, -7% pour les autres bovins), les émissions de GES de l'agriculture diminuent de 7% (-5,5 Mt CO_2e) entre 2019 et 2023. Ainsi, le budget carbone fixé pour ce secteur dans la SNBC-2 pour la période 2019-2023 (réajusté à partir des dernières données 2025), de 82 Mt CO_2e/an, semble respecté avec 79 Mt CO_2e/an en moyenne. À horizon 2030, ce secteur doit atteindre 71 Mt CO_2e d'après la SNBC-2 et 67 Mt CO_2e d'après les objectifs provisoires de la prochaine SNBC-3.

Le puits de carbone forestier est fragile

En parallèle des émissions des autres secteurs, le **secteur de l'utilisation des terres et de la forêt constitue pour l'instant le seul secteur permettant des absorptions de CO_2** grâce à la photosynthèse des plantes. Il représente un puits net de carbone qui permet de séquestrer du CO_2 dans la biomasse et les sols. Estimé à environ -47 Mt CO_2 en moyenne entre 2000 et 2010, ce puits s'est réduit pour atteindre en moyenne -38 Mt CO_2 depuis 2010, notamment en raison de l'effet couplé de sécheresses à répétition depuis 2015, de maladies affectant le taux de mortalité des arbres, et d'une hausse des récoltes de bois. L'édition 2025 de l'inventaire UTCATF présente un changement méthodologique important pour rendre compte de cette hausse de la mortalité forestière : les stocks de bois morts forestiers sont désormais estimés, de manière dynamique. Une augmentation de la mortalité des arbres ne sera plus traduite immédiatement en émissions de carbone, mais un stockage temporaire de ce carbone dans le bois des arbres morts est désormais comptabilisé. Cela permet de mieux refléter la temporalité des émissions. Au regard des objectifs de neutralité, cette diminution du puits implique un effort encore plus conséquent des autres secteurs afin de parvenir à la neutralité carbone.

Émissions de GES en phase avec les objectifs de la SNBC-2

Le **budget carbone** (hors UTCATF) couvrant la **période 2019-2023** est d'en moyenne **425 Mt CO_2e/an**[7]. Avec **des émissions de GES en moyenne de 406 Mt CO_2e/an, ce second budget carbone n'est pas dépassé**. Cette moyenne est portée par le niveau bas observé en 2020 de 396 Mt CO_2e, mais surtout du niveau en 2023 de 376 Mt CO_2e, marquant une baisse de 13,8% par rapport à 2019 et de 6,8% par rapport à 2022. En intégrant le puits carbone au total, les émissions atterrissent en moyenne à 370 Mt CO_2e /an, ce qui est aussi en dessous du plafond moyen de 380 MtCO_2e /an.

Quel est le rythme de réduction nécessaire pour les années à venir ?

Sans tenir compte des années 2020-2021 avec la crise covid et son rebond, le rythme de réduction observé entre 2018 et 2023 est de -4,2% par an hors puits de carbone. La Stratégie nationale bas-carbone actuelle (SNBC-2) prévoyait un rythme de réduction entre 3% et 4% par an, à horizon 2030. Les objectifs affichés dans le projet de **SNBC-3 mis en concertation en novembre 2024**[8]**, proposent une accélération de cette dynamique en envisageant une réduction de l'ordre de 5% par an entre 2022 et 2030**. Il faut cependant tenir compte de la fragilité du puits de carbone qui nécessite un effort de réduction des émissions renforcé pour atteindre à terme la neutralité carbone. Ainsi, le rythme de réduction des émissions doit s'amplifier après 2023 pour se placer sur une trajectoire compatible avec l'objectif de neutralité carbone en 2050.

Comment ces estimations sont mises à jour ? Pourquoi ces chiffres sont différents des annonces précédentes ?

Les estimations présentées ici remplacent celles précédemment publiées. La mise à jour et les affinements de plusieurs indicateurs, notamment pour l'agriculture, le transport routier et la production d'électricité, pour la publication du rapport Secten expliquent les différences de résultats pour 2024 entre le

[7] Pour l'ensemble des budgets carbone relatifs à la SNBC-2 pour la période 2019-2023, un ajustement technique a été réalisé à partir des données d'inventaire édition 2025, cf. note de bas de page (1).

[8] cf. projet : https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr/sites/default/files/2024-11/20241031%20Projet%20de%20SNBC%203%20-%20concertation%20prealable-vF.pdf

proxy (pré-estimation de l'inventaire) et le baromètre, qui resteront à consolider en 2026 pour l'année 2024.

Conformément à l'article D. 222-1-B II du code de l'environnement, un ajustement technique des budgets carbone a été réalisé en 2025 pour conserver la même ambition de réduction et prendre en compte les éventuels changements méthodologiques de l'inventaire (par exemple, l'utilisation de valeurs de pouvoir de réchauffement global issus de rapports plus récents du GIEC). Ainsi, ce sont ces budgets carbone ajustés qui sont commentés dans ce rapport.

Messages clés | polluants atmosphériques

La plupart des polluants en baisse depuis 1990

En France, les émissions de tous les polluants atmosphériques sont en baisse depuis 1990 (métaux lourds, polluants acidifiants, polluants eutrophisants, précurseurs d'ozone troposphérique, particules, polluants organiques persistants). Les émissions de certains polluants ont été très fortement réduites, voire quasiment éliminées depuis 1990, c'est par exemple le cas du plomb (arrêt de la distribution de carburants plombés en 2000), ou encore de l'hexachlorobenzène (HCB), des dioxines et furannes (PCDD/F) et du chrome, du fait des mesures réglementaires mises en place et des moyens de réduction adoptés dans les secteurs de l'industrie et des déchets.

Les objectifs de réduction des émissions de polluants sont respectés

Jusqu'à présent, la France a respecté ses objectifs de réduction d'émissions de polluants atmosphériques fixés dans le cadre de différents Protocoles de la Convention sur la Pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP), pour les SOx, les COVNM, le NH_3, les HAP, les dioxines et furanes, le HCB, les métaux lourds (le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le plomb (Pb)), dans les délais fixés par ces Protocoles. Seuls les objectifs visant les NOX pour la période 2010-2019 n'avaient pu être atteints qu'avec quelques années de retard. Depuis 2020 et jusqu'à l'année 2023, les objectifs de réduction des émissions fixés à la fois par l'UE (directive (UE) 2016/2284 dite NEC 2 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques) et la CLRTAP/Protocole de Göteborg-2 pour les SOx, les NOx, le NH_3 et les particules fines ($PM_{2,5}$) ont été respectés. Concernant les COVNM, l'objectif est respecté avec l'ajustement au même périmètre que celui pris en compte dans l'objectif (total national sans les émissions biogéniques de l'agriculture).

Dioxyde d'azote (NO_X)

Les émissions de dioxyde d'azote (NOx) continuent, en 2024, leur trajectoire à la baisse observée depuis les années 1990, avec un niveau total pré-estimé à 634 kt, niveau le plus bas estimé depuis 1990, en baisse de 3,1% par rapport à 2023 (-70% par rapport à 1990). Cette diminution est principalement due au secteur des transports (-20kt entre 2023 et 2024, soit -6,2%), qui est la principale source d'émissions de ce polluant.

Particules fines ($PM_{2,5}$)

Les émissions de particules fines ($PM_{2,5}$) ont été réduites de 23% entre 2019 et 2023 (en moyenne de 5,3%/an). Cette tendance à la baisse s'observe depuis 1990 (-66%). Cette tendance est toujours constatée pour 2024, bien qu'elle soit moins forte que les réductions observées ces deux dernières années. Les émissions de $PM_{2,5}$ sont estimées à 158 kt, soit une baisse de 1,2% comparé à 2023. La source principale de $PM_{2,5}$ est actuellement le chauffage résidentiel au bois bûche (58% des émissions totales). Une part minoritaire des émissions de $PM_{2,5}$ est liée aux secteurs du transport et de l'industrie, dont les émissions sont estimées à la hausse entre 2023 et 2024.

Ammoniac (NH_3)

L'agriculture est le principal secteur émetteur d'ammoniac (NH_3). Les émissions agricoles de NH_3 sont en légère augmentation de 0,8% entre 2023 et 2024, notamment dans le sous-secteur des cultures (+1,8%) en lien avec la hausse des livraisons d'engrais. Le sous-secteur de l'élevage est, quant à lui, en léger repli (-1,1%) avec le recul des cheptels bovins et porcins. La loi Climat et Résilience prévoit une trajectoire de réduction des émissions agricoles de NH_3 de 2022 à 2030, par rapport

à 2005. Les valeurs observées en 2022 et 2023 respectent cet objectif.

Des problèmes de qualité de l'air persistants

Les émissions de polluants estimées par le Citepa sont relatives aux quantités totales émises par an, sur l'ensemble du territoire. Les concentrations dans l'air ambiant, surveillées par les Associations agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) sont mesurées quotidiennement et localement. La tendance des émissions nationales est à la baisse. Le nombre de points de mesure de qualité de l'air en dépassement des valeurs limites[9] et l'amplitude des dépassements sont également en baisse. Cela étant, des dépassements sont toujours constatés dans certaines agglomérations. Des pics de pollution sont également relevés localement par les AASQA. Aussi, des épisodes de pollution ont régulièrement lieu en hiver et au printemps en termes de particules et au printemps et en été pour l'ozone. Les valeurs limites de concentration pour le NO_2 ne sont toujours pas respectées sur l'ensemble du territoire. En raison notamment du non-respect de ces valeurs limites de concentration, la Commission européenne avait lancé des procédures d'infraction à l'encontre de la France et la Cour de Justice de l'UE l'a condamnée deux fois, d'abord en 2019 pour non-respect des valeurs limites de concentration du NO_2, puis en 2022 pour non-respect de celles des PM_{10}. Voir aussi la décision du Conseil d'État du 17 octobre 2022[10] concernant le dépassement des valeurs limites de concentration du NO_2. Le 7 février 2024, la Commission européenne a adressé un avertissement formel à la France, relançant ainsi le contentieux sur la mise en œuvre de la directive 2008/50/CE relative à la qualité de l'air, et tout particulièrement sur le non-respect des valeurs limites de concentration (VLC) que la directive a fixées pour le NO_2.

Dans une décision rendue publique[11] vendredi 25 avril 2025 à propos du contentieux ouvert le 12 juillet 2017 en matière de pollution de l'air, le Conseil d'État a fait savoir que l'État a mis en place les actions nécessaires pour améliorer la qualité de l'air en France et exécuté sa décision de justice de 2017 dans sa totalité et qu'il n'y a pas lieu de prononcer une nouvelle astreinte financière. « *Après l'avoir condamné à plusieurs astreintes, le Conseil d'État juge aujourd'hui que l'État [français] a mis en place les actions nécessaires pour améliorer la qualité de l'air en France et exécuté sa décision de justice de 2017 dans sa totalité. Plus aucune zone ne dépasse les seuils de pollution aux particules fines (PM_{10}) et le seuil de pollution au dioxyde d'azote (NO_2) est quasiment respecté à Lyon et proche de l'être à Paris.* ».

[9] niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble

[10] Cf. article du Citepa sur le sujet -Lien.

[11] Cf. décision n°428409 du Conseil d'Etat - Lien.

Synthèse

Synthèse - Comprendre nos données

Le Citepa réalise chaque année, pour le compte du ministère de la Transition écologique, une série d'inventaires des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre de la France. Les données d'émissions estimées et les rapports d'inventaire sont des éléments officiels que la France doit soumettre à la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ou encore à la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU), dans le cadre de ses engagements internationaux mais aussi à la Commission européenne. Ces rapports ainsi réalisés suivent des règles de présentation des émissions très précises qui rendent leur lecture malaisée.

C'est pourquoi, en complément, depuis 1999, le Citepa publie un **rapport didactique présentant les émissions de la France, leurs sources et leurs évolutions par rapport aux objectifs de réduction** en vigueur. Ce rapport, Secten, présente les émissions de **plus de 31 substances et gaz à effet de serre** par grand secteur économique, des analyses par sous-secteur ainsi que par combustible, et fournit plusieurs indicateurs et explications détaillées sur les enjeux environnementaux et sanitaires associés, le contexte politique et réglementaire.

L'édition 2025 du rapport Secten présente les émissions depuis 1990 jusqu'à 2023, ainsi qu'une estimation provisoire de l'année 2024. **Le périmètre couvert pour les émissions de gaz à effet de serre est la France métropolitaine et l'Outre-mer inclus dans l'UE ; pour les polluants atmosphériques, le périmètre est la France métropolitaine**. Ces périmètres ont été choisis pour être en cohérence avec ceux des objectifs réglementaires associés notamment pour pouvoir se comparer plus facilement aux engagements du Protocole de Kyoto, de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) pour les gaz à effet de serre et ceux de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) pour les polluants.

Conformément aux règles de la CCNUCC, **l'inventaire national de la France utilise les valeurs des pouvoirs de réchauffement global (PRG) issues du 5e rapport d'évaluation du GIEC (AR5)** ; et applique le guide méthodologique du GIEC (2006 et raffinement 2019) pour les inventaires nationaux d'émissions de GES, ainsi que le guide EMEP/EEA mis à jour en 2023 pour les émissions de polluants atmosphériques. Pour chaque substance, une estimation de l'incertitude associée est aussi estimée.

Synthèse - Gaz à effet de serre

Cadre politique

Au niveau international, neuf ans après l'adoption de l'Accord de Paris et à six ans de 2030, la COP-29 à Bakou (Azerbaïdjan) a été une COP charnière pour le sujet qui constitue le « nerf de la guerre » des négociations climat au sein de la CCNUCC : le **financement climat**. Quelques mois après la COP, l'arrivée au pouvoir de Donald Trump, a marqué un virement à 180° dans la politique climat nationale et internationale, notamment avec la signature du décret présidentiel du 20 janvier 2025 - *« Unleashing American energy »* -, prévoyant le démantèlement du *« New Green Deal »* et de l'*« Inflation Reduction Act »*.

Au niveau européen, en 2022 et 2023, la procédure législative et de négociations entre le Parlement européen et le Conseil de l'UE sur le paquet politique et législatif « Fit for 55 [%] » de 2021 est arrivée à un aboutissement. Fin 2024, les rapports de l'Agence européenne pour l'environnement et de la Commission européenne ont souligné la réduction importante des émissions entre 2022 et 2023 (-8%), marquant une **accélération du rythme de réduction ces dernières années :** la réduction annuelle observée en 2023 est plus de trois fois supérieure au taux moyen enregistré depuis 2005. **En outre, l'Union européenne est en bonne voie pour réduire ses émissions nettes de GES d'environ 54% d'ici à 2030 et tangenter l'objectif officiel de -55%, par rapport aux niveaux de 1990** au vu de l'évaluation des plans nationaux intégrés en matière d'énergie et de climat (PNIEC).

En France, après une phase de consultation publique, Agnès Pannier-Runacher, ministre de la Transition écologique, a présenté le 10 mars 2025 la version finale du troisième plan national d'adaptation au changement climatique, le PNACC 3, qui prévoit « *une cinquantaine de mesures et 200 actions concrètes pour préparer la France dans tous les secteurs d'activité à vivre avec le dérèglement climatique* ». Le Haut Conseil pour le Climat (HCC) a salué la publication du PNACC 3, *« un document essentiel »*, mais a souligné que « *Les financements favorables à l'adaptation dans le PNACC 3 restent très insuffisants* » et appelé à « *doter le PNACC 3 d'un plan de financement complet*

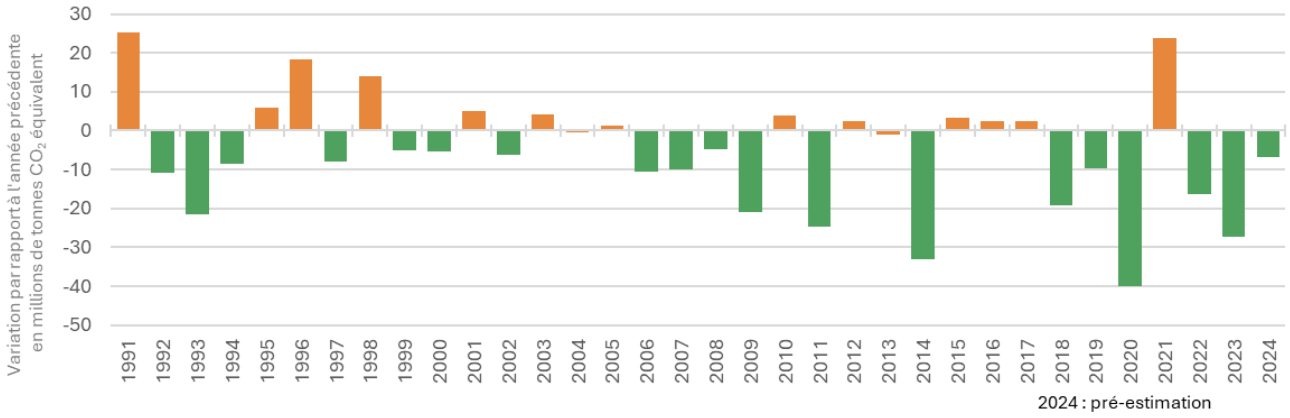
(État/collectivités/privé) prévoyant un renforcement des financements de l'adaptation sur la base d'un cadre incitatif et réglementaire et [à] mettre en place un suivi transparent des crédits alloués à chaque mesure ».

En outre, la finalisation de la **Stratégie française Énergie-Climat (SFEC) est en attente**. Les trois feuilles de route correspondantes – le Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) – sont censées constituer *« le socle d'une action cohérente, intégrée et ambitieuse en la matière »*. Les projets de mise à jour de la PPE et SNBC ont été mis en consultation le 4 novembre 2024, l'adoption des versions finales a été reportée à 2025.

Emissions

Les émissions de tous les GES, en équivalent CO_2 (CO_2e), ont connu une période de hausse jusqu'en 2005 puis ont connu une tendance à la baisse depuis lors, malgré des hausses temporaires. **En 2023, les émissions (hors puits de carbone) sont en baisse de 6,8%**, et cette baisse concerne tous les grands secteurs émetteurs.

Entre 2019 et 2023, émissions de gaz à effet de serre sont en moyenne par an en dessous du seuil défini par le 2nd budget carbone de la SNBC-2. Les **émissions brutes** estimées pour **2024** sont en baisse, mais ce de façon moins importante que pour 2023, avec une **réduction atteignant -1,8%**.



Variations interannuelles des émissions de CO_2e (Mt CO_2e) - en France (Métropole et Outre-mer UE)

Synthèse - Polluants

Cadre politique

Au niveau international, en 2021, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a mis à jour les valeurs-guides pour la qualité de l'air extérieur. Dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP), la **finalisation de la révision du Protocole de Göteborg,** tel qu'amendé en 2012, est prévue pour la quarante-sixième session de l'Organe exécutif (en décembre 2026).

Au niveau de l'UE, la **directive révisée sur la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe**, directive (UE) 2024/2881, est **entrée en vigueur le 10 décembre 2024.** Le texte aligne plus étroitement les normes de qualité de l'air de l'Union européenne sur les valeurs-guides de l'OMS. Ainsi le texte s'accompagne d'une série de nouvelles mesures et de normes plus strictes qui permettront aux Européens de bénéficier d'un air plus sain. Ainsi, **pour les deux polluants ayant la plus forte incidence documentée sur la santé humaine, les $PM_{2,5}$ et le NO_2, les valeurs limites annuelles doivent être réduites de plus de la moitié**, et passer respectivement de 25 µg/m^3 à 10 µg/m^3 et de 40 µg/m^3 à 20 µg/m^3. En parallèle, la nouvelle directive IED, révisant la directive initiale de 2010, et dédiée pour sa part à l'industrie, est entrée en vigueur le 4 août 2024, sachant qu'elle vise à réduire les émissions nocives de l'industrie et de l'élevage intensif dans l'ensemble de l'UE.

Au niveau national, la situation reste toujours marquée par un contraste entre, d'un côté, des émissions de polluants en baisse (avec des objectifs de réduction atteints, et une amélioration globale de la qualité de l'air) ; et de l'autre côté, des pics importants de concentration d'ozone et encore certains dépassements des seuils réglementaires de qualité de l'air, notamment pour le NO_2[12]. Dans un communiqué de presse publié le 25 avril 2025 et intitulé « *Qualité de l'air : le Conseil d'État constate que les mesures prises*

[12] Cf. Bilan de la qualité de l'air 2023 -Sdes

pour respecter les seuils de pollution ont porté leurs fruits », la Haute Juridiction précise à propos du contentieux ouvert le 12 juillet 2017 en matière de pollution de l'air que « *Après l'avoir condamné à plusieurs astreintes, le Conseil d'État juge aujourd'hui que l'État français] a mis en place les actions nécessaires pour améliorer la qualité de l'air en France et exécuté sa décision de justice de 2017 dans sa totalité. Plus aucune zone ne dépasse les seuils de pollution aux particules fines (PM_{10}) et le seuil de pollution au dioxyde d'azote (NO_2) est quasiment respecté à Lyon et proche de l'être à Paris* ». En 2023 et 2024, des annonces et un rapport spécial ont été publiées sur les Zones à faibles émissions mais celles-ci ont été remises en cause par un vote à l'Assemblée nationale le 29 mai 2025, une mesure qui pourrait toutefois faire l'objet d'une censure du Conseil constitutionnel.

Polluants acidifiants, eutrophisant et photochimiques

La **pollution acide** est liée aux émissions de SO_2, NOx mais aussi à celles de NH_3. L'eutrophisation est liée aux retombées d'azote issues des émissions de NOx et NH_3 conduisant à enrichir les milieux et à en modifier les équilibres chimiques. L'adoption par la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (LRTAP) en 1979, de divers protocoles et notamment du Protocole de Göteborg en 1999 et sa révision en 2012 ainsi que l'adoption des directives européennes NEC (1999) et NEC-2 (2016) ont permis des réductions significatives des impacts sur les écosystèmes et la santé humaine.

Les **COVNM** (composés organiques volatils non méthaniques) sont des espèces organiques gazeuses issues des phénomènes de combustion, d'évaporation de substances organiques comme les solvants, de réactions chimiques ou biologiques. La notation COVNM est utilisée afin de distinguer le méthane des autres COV. La baisse des émissions de COVNM a commencé dès 1992, sans interruption jusqu'en 2010 avec les diminutions annuelles les plus fortes observées entre 2005 et 2009, plus de 10% en 2009. Globalement, la baisse des émissions, de 63%, constatée entre 1990 et 2024 s'explique par une réduction dans chacun des secteurs d'activité.

Pour la plupart des secteurs, l'évolution des émissions de **SO_2** de ces dernières années est soit en légère diminution, soit constante, poursuivant la dynamique de forte baisse historique entamée depuis les années 1990. En 2024, on estime une baisse de 94% par rapport à 1990, et une légère hausse de 2% par rapport à 2023.

La tendance à la baisse des émissions de **NOx** continue en 2024 (-70% par rapport à 1990, -3% par rapport à 2023) et devrait se poursuivre dans le secteur des transports au cours des prochaines années grâce à la mise en œuvre de normes de plus en plus strictes concernant les rejets de polluants.

L'agriculture est le secteur prédominant des émissions d'ammoniac (**NH_3**), en raison du phénomène de volatilisation qui a lieu généralement à l'épandage d'engrais azotés organiques (déjections animales, boues, composts…), et minéraux, contenant de l'azote uréique (précurseur de l'ammonium) ou ammoniacal (NH_4+). Si l'objectif pour 2020 a été atteint, des réductions supplémentaires seront nécessaires pour atteindre l'objectif 2030. Ainsi, en 2022, le décret n° 2022-1654 est venu définir les trajectoires annuelles de réduction des émissions de NH_3 du secteur agricole jusqu'en 2030 afin d'atteindre l'objectif de -13% en 2030 par rapport à 2005.

Métaux lourds

Le terme métal lourd n'a pas de véritable définition scientifique, mais on considère généralement que ce sont des éléments métalliques dont la masse volumique est supérieure à 5 g/cm^3. La France rapporte l'ensemble des métaux concernés par la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance soit l'arsenic (As), le **cadmium** (Cd), le **chrome** (Cr), le **cuivre** (Cu), le **manganèse** (Mn), le **mercure** (Hg), le **nickel** (Ni), le **plomb** (Pb), le **sélénium** (Se), et le **zinc** (Zn). Entre 1990 et 2024, leurs émissions sont en forte baisse pour l'ensemble (en moyenne plus de -80% avec des baisses atteignant -92% pour le chrome, le mercure et le nickel, et jusqu'à -98% pour le plomb). Le cuivre fait exception, un métal pour lequel depuis 2015 il n'est pas observé de fluctuations majeures des émissions, sauf en 2020 en lien avec la crise sanitaire. Une légère hausse de 9% est d'ailleurs estimée pour 2024 par rapport à ce niveau de 1990. Cette hausse est en lien avec le secteur des transports, principal contributeur, dont les émissions augmentent légèrement depuis le début des années 1990. Ces émissions sont surtout imputables à l'usure des plaquettes de freins des véhicules.

Polluants organiques persistants

Le terme de polluants organiques persistants ou POP désigne un grand nombre de substances organiques ~~non pas définies par leur nature chimique~~ définies non par leur nature chimique mais par leurs propriétés : elles sont persistantes et restent de longues années non dégradées. Ces substances sont bioaccumulables et toxiques.

Les émissions de **dioxines et furanes** (PCDD-F) ont été réduites de 93% entre 1990 et 2024. La tendance à la baisse observée depuis 2010 est essentiellement due au secteur de l'industrie manufacturière et au secteur des transports (dans le sous-secteur du traitement des déchets par incinération, les réductions des émissions ont eu lieu avant cette période).

Les émissions d'**hydrocarbures aromatiques polycycliques** (HAP) concernent les quatre HAP couverts par le Protocole d'Aarhus. Sur la période 1990-2024, l'évolution interannuelle des émissions est en grande partie liée aux conditions climatiques (aux températures hivernales), qui impactent la consommation d'énergie, dont en particulier le bois dans le secteur résidentiel.

Les **polychlorobiphényles** (PCB) sont toxiques, écotoxiques et reprotoxiques. Leur niveau d'émission a diminué de 83% entre 1990 et 2024. De nos jours, en France, les émissions atmosphériques de PCB sont principalement dues soit à une formation accidentelle dans les divers procédés de combustion, soit à l'élimination de produits ou matériaux contenant des PCB.

En France, le plafond d'émission fixé pour le **hexachlorobenzène** (HCB), est de 1 639 kilogrammes par an. En 2024, les émissions totales françaises de HCB étaient de 7 kilogrammes, soit une diminution de 99,6% par rapport aux rejets de l'année 1990.

Particules

Les particules atmosphériques sont constituées d'un mélange de différents composés chimiques organiques ou inorganiques et minéraux en suspension dans l'air, à l'état solide ou liquide. Elles sont différenciées selon leur diamètre aérodynamique : les **particules totales en suspension** (appelées TSP pour l'acronyme anglais *Total Suspended Particles*) regroupent l'ensemble des particules ; les **PM_{10}**, dont le diamètre est inférieur ou égal à 10 µm (microns), les **$PM_{2,5}$**, particules dont le diamètre est inférieur ou égal à 2,5 µm ; les **$PM_{1,0}$**, dont le diamètre est inférieur ou égal à 1,0 µm ; les particules ultra fines (**PUF**), particules dont le diamètre est inférieur à 0,1 µm. Elles sont d'origine mécanique, chimique ou thermique, ou encore biologique. Plus les particules sont fines, plus elles sont dangereuses pour la santé car elles peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires. Les particules issues directement des sources d'émissions sont qualifiées de primaires mais on distingue aussi les particules secondaires issues de réactions chimiques entre précurseurs à l'état gazeux (NH_3, NOx, SO_2, COV).

Depuis 1990, les émissions de $PM_{2,5}$ ont été réduites de plus de 67%. Cette réduction a plusieurs origines, dont l'amélioration des performances des techniques de dépoussiérage dans de nombreux secteurs de l'industrie manufacturière (sidérurgie, verrerie, cimenterie, etc.), l'amélioration des technologies pour la combustion de la biomasse (impact dans le secteur résidentiel/tertiaire), la mise en place de normes pour les engins routiers (Euro) et d'arrêtés pour les installations de combustion. Pour les années récentes, les évolutions des émissions sont liées à la rigueur ou à la douceur de l'hiver, qui impacte notamment la consommation de bois énergie dans les sous-secteurs du chauffage des bâtiments et de la production d'électricité.

Synthèse - Énergie

Le secteur de l'industrie de l'énergie comprend les émissions de la **production d'énergie** (centrales électriques, production de chaleur, incinération de déchets avec récupération d'énergie), les émissions liées à la **transformation d'énergie** (raffineries, transformation de combustibles minéraux solides…) et **l'extraction et la distribution d'énergie** (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.). **Les émissions de ce secteur ont diminué depuis 1990** (-53% entre 1990 et et 2023) du fait de l'évolution du mix énergétique français, par le recours à l'énergie nucléaire et la part grandissante des énergies renouvelables, mais aussi du fait de la réglementation visant les installations de combustion. Ce secteur est concerné par des objectifs de réduction des émissions, que ce soit dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP en anglais), des directives relatives aux Grandes Installations de Combustion (GIC) et aux émissions industrielles (IED en anglais), pour les polluants atmosphériques, ou bien du Système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (SEQE) ou encore de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) pour les gaz à effet de serre.

Synthèse - Industrie

Le secteur *Industrie manufacturière et construction* est un ensemble hétérogène dans le sens où l'on constate des émissions de polluants liées à l'utilisation de l'énergie ou bien liées à d'autres phénomènes (mécanique, chimique, etc.) ; une grande diversité des procédés spécifiques aux différents secteurs de la branche et aux divers produits ; et, enfin, la variabilité des caractéristiques des installations et ce, même au sein d'un secteur (type d'équipement, taille, etc.).

Ce secteur représente entre 26% (début des années 1990) et 18% (en moyenne ces dix dernières années) des émissions de CO_2e du total national français. Depuis 2022, sa part est passée sous le seuil des 18%. Ces émissions proviennent à la fois des activités de combustion et des procédés industriels mis en œuvre. Alors que **les émissions totales de GES** en (hors puits de carbone**) ont diminué de 31% entre 1990 et 2023, les émissions du secteur de l'industrie et de la construction ont, elles, baissé de 55%.**

Synthèse - Bâtiments

Le secteur Usage des bâtiments et activités résidentielles, tertiaires, commerciales et institutionnelles ne doit pas être exactement assimilé à ce qui peut être appelé, dans d'autres communications, « le secteur du bâtiment ».

Le **résidentiel** inclut l'usage des bâtiments résidentiels mais aussi certaines activités domestiques. Il est décomposé en sept sous-secteurs : Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson ; Équipements de climatisation et pompes à chaleur résidentielles ; Équipements de froid domestique ; Utilisation de produits domestiques (peintures, colles, aérosols, produits pharmaceutiques etc.) ; Engins (loisirs et jardinage) ; Déchets et brûlage domestiques & eaux usées ; Autres activités : tabac et feux d'artifices.

Le **tertiaire** est décomposé en cinq sous-secteurs : Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson dans le tertiaire ; Équipements de climatisation pour le tertiaire ; Installation de réfrigération (supermarchés, hypermarchés, petits commerces, entrepôts, patinoires) ; Utilisation de certains produits (solvants, peintures, aérosols, extincteurs, produits utilisés en anesthésie, pour la réparation de véhicules) ; Autres activités tertiaires : feux d'artifice, activités militaires, crémation.

Les émissions de ce secteur, pour les GES comme pour la plupart des polluants, sont dominées par les appareils de combustion. La climatisation, la réfrigération commerciale et l'utilisation de solvants ont aussi des impacts importants sur les émissions de certains polluants.

Afin de pouvoir réduire à la fois les émissions de GES mais aussi celles des polluants du résidentiel-tertiaire, les principaux enjeux sont ceux de la rénovation énergétique des bâtiments et du choix du type de combustible ou du vecteur énergétique utilisé

En 2023, le secteur résidentiel-tertiaire atteint, avec 57,5 Mt CO_2e, le niveau d'émissions de GES le plus bas depuis 1990, et dans la continuité de la diminution des émissions observées depuis 2017, malgré une hausse temporaire observée en 2021. Plusieurs facteurs peuvent jouer sur cette baisse : évolution du mix énergétique dans le chauffage résidentiel, douceur des hivers, meilleure efficacité énergétique des bâtiments. La baisse estimée pour 2024 est bien moindre que celle observée ces dernières années, estimation qui sera confirmée dans la prochaine édition Secten.

Synthèse - Transports

Le secteur intègre, d'une part, les sources routières des différentes catégories de véhicules et, d'autre part, les sources non routières. Ces dernières incluent les transports aérien, ferroviaire, maritime (dont pêche), fluvial de marchandises et autres modes de navigation (bateaux de plaisance et autres petits bateaux).

Ce secteur est la source clé des émissions des gaz à effet de serre, notamment dues aux émissions de CO_2 du transport routier. Ces émissions étaient globalement stables dans la dernière décennie. Depuis la crise Covid de 2020, après une reprise des émissions suite au déconfinement, **les émissions sont maintenant à la baisse et atteignent en 2024 le niveau de 1990**. Ceci s'explique par la stagnation des émissions du routier, des baisses importantes pour le fluvial, le ferroviaire et le maritime domestique alors que les autres navigations et l'aérien domestique ont augmenté.

Les émissions des gaz à effet de serre du transport sont une conséquence de la demande, elle-même liée majoritairement à la démographie, aux politiques publiques (e.g. report modal et prime à la conversion des véhicules) et à l'évolution du prix des carburants. Ceci a un effet combiné et associé avec le renouvellement du parc (plus ou moins important selon le mode de transport) et l'introduction des agro-carburants.

Concernant **les polluants atmosphériques, les émissions de l'ensemble des transports ont essentiellement diminué la dernière décennie grâce au renouvellement du parc des véhicules routiers.**

Synthèse - Déchets

Ce chapitre concerne les activités relatives **au traitement des déchets solides, au traitement et au rejet des eaux usées domestiques et industrielles** mais aussi, conformément aux lignes directrices internationales sur les inventaires d'émissions nationaux, à **la crémation, aux feux de véhicules et aux feux de bâtiments**.

Les **émissions du secteur Déchets en France ont globalement diminué** sur la période 1990-2023, que ce soit concernant les polluants (essentiellement liés à l'incinération et aux feux de déchets) ou les gaz à effet de serre (-6% - essentiellement liés au stockage des déchets et, dans une moindre mesure, au traitement et rejet des eaux usées). La seule exception concerne l'ammoniac (NH_3).

À noter, le développement de la filière du compostage et de la méthanisation de déchets ménagers depuis plusieurs années, même si leur impact reste très faible en termes d'émissions.

La prévention de la production des déchets est une priorité inscrite dans le code de l'environnement français. La loi n°2015-992 relative à la Transition écologique pour la croissance verte (LTECV) a confirmé cette politique de prévention des déchets par des mesures de lutte contre les gaspillages et de promotion de l'économie circulaire, en particulier en visant le découplage progressif entre la croissance économique et la consommation de matières premières, en développant le tri à la source (notamment des déchets alimentaires et des déchets des entreprises) et les filières de recyclage et de valorisation.

Synthèse - Agriculture

Le secteur agriculture et sylviculture regroupe essentiellement les émissions liées à l'agriculture, celles de la sylviculture ne représentent qu'une très faible fraction des émissions associées aux utilisations d'engins sylvicoles.

Le secteur distingue les émissions de l'élevage et celles des cultures, mais certaines émissions peuvent être associées à la fois aux élevages et aux cultures, c'est le cas des épandages d'engrais et amendements organiques. Certaines émissions ne sont pas directement associées à une orientation économique connue. C'est le cas des tracteurs, ces derniers étant aussi bien utilisés en élevage qu'en grandes cultures.

Le secteur est à l'origine de l'émission de nombreuses substances, aussi bien des gaz à effet de serre que des polluants atmosphériques. Les processus émetteurs peuvent être biologiques (fermentation entérique chez les ruminants, processus microbiens dans les sols cultivés et les effluents d'élevage) ; physiques (émission par diffusion à l'interface sol-atmosphère, mise en suspension de particules par les outils, pulvérisation) ; ou encore chimiques (décarbonatation des amendements basiques, hydrolyse de l'urée, combustion).

En 2023, le secteur agricole est un contributeur majeur aux émissions nationales de **N_2O** (22 $MtCO_2e$ soit 81%)**,** de **CH_4** (43 $MtCO_2e$ soit 71%), de **NH_3** (527 kt soit 96%) et de **TSP** (435 kt soit 57%). C'est également un

contributeur notable pour les émissions de COVNM (41%), de PM_{10} (19%), de NOx (24%), de BC (6%), de $PM_{2.5}$ (6%) et de CO (5%). Compte tenu de son poids dans les émissions nationales, l'agriculture est appelée à contribuer à l'effort général de réduction des GES et à l'atteinte des objectifs fixés aux niveaux national et international. Il en est de même pour l'atteinte des objectifs en matière de qualité de l'air (respect des plafonds NH_3 et $PM_{2.5}$ en particulier).

Une des spécificités du secteur agricole est le caractère diffus des émissions et la complexité des processus qui rendent parfois difficile la quantification des émissions. Ces dernières sont donc associées à de fortes incertitudes. Les améliorations mises en place au fur et à mesure dans l'inventaire national permettent de quantifier avec une précision croissante les émissions, ce qui offre la possibilité de suivre les efforts d'atténuation entrepris par ce secteur.

Synthèse - UTCATF

Le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changement d'affectation des Terres et Forêt) constitue pour l'instant le seul secteur permettant des absorptions de CO_2 grâce à la photosynthèse des plantes. Le carbone absorbé est provisoirement retranché de l'atmosphère en étant stocké dans la biomasse et les sols. En France, aujourd'hui, les absorptions (en premier lieu la croissance de la biomasse forestière et non forestière) sont plus importantes que les émissions de ce secteur (mortalité des arbres, déboisements, feux de forêt, artificialisation des sols…). Ce secteur est donc un puits net de carbone. En 2023, ce puits net est estimé à -37 $MtCO_2e$. Dans le même temps, les autres secteurs ont émis 376 $MtCO_2e$, l'UTCATF permet donc de compenser 10% des émissions des autres secteurs. Fortement à la hausse durant la période 1990-2005, le puits a drastiquement diminué de 2014 à 2017, passant d'environ -50 $MtCO_2e$ dans les années 2000 à seulement -28 $MtCO_2e$ en 2017. Cette quasi-division par deux de la capacité de séquestration de carbone est principalement en lien avec l'effondrement du puits de carbone forestier. Cette dynamique peut s'expliquer par la sévère hausse de la mortalité des arbres par l'effet couplé de sécheresses à répétition depuis 2015 et de crises sanitaires (dépérissement des arbres liés aux scolytes, chalarose, etc.) ; par un ralentissement de la croissance des peuplements et une hausse des prélèvements. L'édition 2025 de l'inventaire UTCATF présente un changement méthodologique important pour rendre compte de cette hausse de la mortalité forestière : les stocks de bois morts forestiers sont désormais estimés, de manière dynamique. Une augmentation de la mortalité des arbres ne sera plus traduite immédiatement en émissions de carbone, mais un stockage temporaire de ce carbone dans le bois des arbres morts est désormais comptabilisé. Cela permet de mieux refléter la temporalité des émissions.

Des enjeux importants reposent dans l'adaptation des forêts au changement climatique et la favorisation de la résilience des peuplements pour permettre un maintien, voire une régénération du puits forestier. Ce volet devra notamment être couplé à un renforcement du stockage de carbone dans des produits bois à longue durée de vie, une réduction de l'artificialisation des terres et un renforcement du stockage de carbone dans les sols agricoles. L'ambition politique est d'arriver, en 2050, pour la neutralité carbone, à un puits UTCATF, complété par des puits artificiels (CCS[13]…), afin de compenser intégralement les émissions résiduelles des autres secteurs, projetées à cet horizon à environ 80 $MtCO_2e$ dans la SNBC-2. Cet objectif sera révisé dans la SNBC-3 à paraître.

[13] Captage et stockage du dioxyde de carbone

Synthèse - Émissions naturelles

Dans le cadre des rapportages officiels, seules les émissions anthropiques de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques doivent être inventoriées et rapportées dans le total national. Néanmoins, plusieurs sources d'émissions naturelles sont estimées, même si l'incertitude reste importante, et que ces calculs ne se veulent pas exhaustifs.

Une première source naturelle concerne des émissions liées à la végétation : les composés organiques volatiles d'origine biotique. Le second type de sources d'émissions naturelles concerne des procédés abiotiques (foudre, volcanisme) et les animaux.

Contenu des annexes

Les annexes présentent un glossaire, un guide des unités utilisées, une section sur le cadre règlementaire de l'inventaire (arrêté dit « SNIEBA »), un tableau de rapportage officiel des émissions de GES au titre de la CCNUCC, une vue d'ensemble de l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de polluants atmosphériques, une section sur les données SEQE (EU-ETS) ; sur le dispositif international CORSIA pour les émissions de l'aviation ; la nomenclature des sources d'émissions utilisées (codes SNAP par secteur Secten) et, enfin, les références bibliographiques.

Fichiers de données

En complément de ce rapport, les jeux de données Excel présentant l'ensemble de la base de données et des graphiques sont disponibles librement sur le site du Citepa. Les données se présentent dans un format systématique, avec le détail des émissions selon les secteurs et sous-secteurs ou combustibles (en ligne) et par année (en colonne). En complément, à partir de cette édition, l'impact en CO_2e des effets météo sont proposés à titre d'analyse complémentaire. L'impact est obtenu en utilisant la différence de consommation énergétique réelle et corrigée des variations climatiques (CVC) disponible dans le bilan énergétique français.

Fichiers des émissions totales – par gaz ou substance - tous secteurs

01-Citepa_Emissions-par-substance_Secten-GES_2025_d.xlsx

02-Citepa_Emissions-par-substance_Secten-PA_2025_d.xlsx

Fichier par secteur – tous gaz et substances

03-Citepa_Industrie-energie_Secten_ed2025-d.xlsx

04-Citepa_Industrie-manufacturiere-construction_Secten_ed2025-d.xlsx

05-Citepa_Traitement-centralise-dechets_Secten_ed2025-d.xlsx

06-Citepa_Batiments-Residentiel-Tertiaire_Secten_ed2025-d.xlsx

07-Citepa_Agriculture_Secten_ed2025-d.xlsx

08-Citepa_Transports_Secten_ed2025-d.xlsx

09-Citepa_UTCATF_Secten_ed2025-d.xlsx

10-Citepa_Emissions-naturelles_Secten_ed2025-d.xlsx

11-Citepa_EMNR_Secten_ed2025-d.xlsx

Fichiers des émissions totales – Formats spécifiques

12-Citepa-Plan-Climat-UE_ed2025-d.xlsx

13-Citepa-Plan-Climat-MT_ed2025-d.xlsx

14-Citepa-SEQE-UE_ed2025-d.xlsx

15-Citepa-SEQE-France-éd 2025-d.xlsx

16-Citepa-SEQE-Plan Climat_éd-2025-d.xlsx

Fichier par secteur et par combustibles

22-Citepa-Combustibles_Secten-GES_ed2025-d.xlsx

23-Citepa-Combustibles_Secten-PA_ed2025-d.xlsx

Fichiers complémentaires

19_Citepa_COVNM_speciation_&_Solvants_ed2025_d.xlsx

20_Citepa_chiffres_cles_Secten-GES_ed2025-d.xlsx

21_Citepa_chiffres_cles_Secten-PA_ed2025-d.xlsx

24-Emissions corrigées du climat _ed2025-d.xlsx

Comprendre les données

Qu'est-ce que le rapport Secten ?

Quelles sont les caractéristiques du format Secten ?

Les données d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et de polluants atmosphériques (PA) au format Secten sont des données officielles élaborées par le Citepa dans le cadre du Système national d'inventaires d'émission et de bilans pour l'atmosphère (SNIEBA), conformément à l'organisation du système national d'inventaires en France définie par l'arrêté du 24 août 2011 modifié. Le format "Secten" (SECTeurs économiques et ENergie) a été développé par le Citepa afin de disposer de séries mettant en évidence les contributions des différents secteurs d'activités économiques. Il reprend les résultats des émissions d'inventaires déclarés à la CEE-NU (Commission économique pour l'Europe des Nations unies) pour les polluants atmosphériques et à la CCNUCC (Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques) pour les gaz à effet de serre, qu'il agrège différemment.

Plages temporelles

L'inventaire au format Secten présente les émissions depuis 1990 jusqu'à l'année la plus récente possible, soit l'année « N-2 » de l'année de publication.

La résolution temporelle est l'année civile. La période étudiée est parfois plus étendue, à partir de 1960 (pour SO_2, NOx, CO et CO_2), de 1980 (pour NH_3), de 1988 (pour les COVNM), et de 1990 (pour les autres substances), jusqu'à l'année N-2, N étant l'année de publication. L'année N-1 fait l'objet d'une estimation préliminaire. Certaines améliorations méthodologiques sont susceptibles de modifier rétrospectivement l'ensemble des années passées.

Périmètre géographique

Le périmètre géographique des émissions totales du format Secten correspond à la France métropolitaine pour les polluants et à la France métropolitaine + les départements d'Outre-mer inclus dans l'UE pour les GES. La résolution spatiale correspond à la France comme entité unique. Avant l'édition 2020, les GES étaient présentés uniquement au périmètre métropole. L'Outre-mer inclus dans l'UE a été ajouté pour faciliter la cohérence avec le rapport CCNUCC et parce que les objectifs de réduction (européens, SNBC) sont relatifs à ce périmètre. Désormais, les deux périmètres sont fournis dans les tableaux de données (« MT » pour la métropole et « UE » pour la métropole et l'outre-mer inclus dans l'UE).

Spécificités sectorielles

Les spécifications sectorielles des émissions au format Secten diffèrent selon la nature des émissions :

- pour les gaz à effet de serre directs, les spécifications sectorielles de la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques sont appliquées ;
- pour les polluants atmosphériques de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, les spécifications sectorielles des inventaires CEE-NU/NEC sont utilisées.

Validité

Chaque édition de l'inventaire (qu'il s'agisse de tableaux, rapports, graphiques) annule et remplace l'édition précédente. En effet, chaque année, les données sources sont mises à jour, les méthodes d'estimation sont perfectionnées et certaines sources d'émissions sont prises en compte de façon plus fine. Ces révisions s'appliquent à l'ensemble des séries historiques.

Les secteurs Secten

Le format Secten comporte deux niveaux sectoriels : un niveau de secteurs dits "grands secteurs" constitué par sept catégories de sources et une catégorie de sources "hors total" ; et un niveau de 86 sous-secteurs. Les sept grands secteurs considérés sont :

L'extraction, production, transformation et distribution d'énergie (9 sous-secteurs)

Ce secteur prend en compte les émissions dues à l'extraction, la transformation et la distribution d'énergie. Il inclut la production d'électricité et les raffineries.

Industrie manufacturière, construction (9 sous-secteurs)

Le secteur « industrie manufacturière et construction » regroupe plusieurs activités. D'une part, il intègre toutes les sources de combustion (les chaudières, turbines, moteurs fixes ou mobiles (engins mobiles non routiers) et les fours de procédés de l'industrie manufacturière), d'autre part, les sources de décarbonatation et enfin les usages non énergétiques (usage des solvants, transformation du bois, chimie organique et inorganique, etc.). Il inclut les émissions issues du traitement des déchets sur site.

Usage des bâtiments et activités résidentielles et tertiaires (12 sous-secteurs)
Le secteur des bâtiments et activités résidentiels-tertiaires est plus large que le secteur du bâtiment. Il inclut, pour le résidentiel, les émissions liées aux activités domestiques dans les bâtiments d'habitation : combustion des appareils de chauffage, feux ouverts, engins mobiles non routiers pour le loisir/jardinage, utilisation domestique de solvants, réfrigération et air conditionné, consommation de tabac, traitement des eaux usées, etc. Pour le tertiaire, il inclut les émissions liées aux activités et bâtiments des entreprises, commerces, institutions et services publics : combustion des appareils de chauffage, utilisation de solvants, réfrigération et air conditionné, bombes aérosols, utilisation de feux d'artifices, notamment. Il n'inclut pas les émissions liées aux matériaux de construction (dans Industrie) ni à l'artificialisation des terres (dans UTCATF).

Agriculture et sylviculture (11 sous-secteurs)
Ce secteur prend en compte les émissions liées aux élevages (animaux, bâtiment et stockage), aux cultures (fertilisation azotée minérale et organique, animaux à la pâture, amendements basiques et d'urée, riziculture et brûlage des résidus agricoles) ainsi que les émissions relatives aux engins, moteurs et chaudières en agriculture et sylviculture (installations de combustion et consommations énergétiques des engins agricoles et sylvicoles). Les émissions exclues du total national (sources biotiques en agriculture) sont présentées à titre d'information dans le secteur des émissions naturelles.

Transports (30 sous-secteurs)
Ce secteur intègre, d'une part, les sources routières (des différentes catégories de véhicules) et les sources non routières (aérien, fluvial de marchandises, maritime dont la pêche, autres navigations dont la plaisance et ferroviaire). Les émissions sont liées d'une part à la combustion des combustibles mais aussi à l'évaporation de l'essence, aux abrasions (freins, pneus, routes, caténaires, etc.) ainsi qu'à l'usage de gaz fluorés dans le circuit de climatisation des véhicules. Seule une partie des émissions des aéronefs et des bateaux est prise en compte dans les émissions totales de la France, conformément aux spécifications en vigueur sur le plan international (règles de rapportage définies par la CCNUCC et la CEE-NU). Dans le cas des gaz à effet de serre, les émissions du trafic maritime international et trafic aérien international sont exclues. Dans le cas des autres substances, les polluants atmosphériques, les émissions « hors total » sont constituées des émissions maritimes internationales et des émissions de la phase croisière
(≥ 1000 m) des trafics aériens domestique et international.

Ces émissions non prises en compte dans les totaux nationaux dans le secteur Transports, sont toutefois présentées à titre d'information.

Traitement centralisé des déchets (4 sous-secteurs)
Les résultats d'émissions liées au traitement centralisé des déchets font l'objet d'un secteur dédié. Ce secteur regroupe les activités relatives au traitement des déchets solides, au traitement et au rejet des eaux usées domestiques et industrielles mais aussi à la crémation. Certaines émissions dues au traitement des déchets sont rattachées à d'autres secteurs, notamment celles liées au traitement des déchets in-situ, qui sont comptabilisées dans les émissions de l'industrie manufacturière.

Utilisation des Terres, les Changements d'Affectation des Terres et de la Forêt (UTCATF) (8 sous-secteurs)
Ce secteur prend en compte les flux de carbone dus aux changements d'affectation des terres, aux changements de pratiques dans leurs usages ou aux dynamiques de long terme. Les forêts, cultures et prairies sont les principaux sous-secteurs concernés.

Emissions naturelles (3 sous-secteurs)
La catégorie qui concerne les **émissions naturelles** regroupe des émissions des sources non anthropiques (ex : COVNM biotiques des forêts, volcans, ...).

Les listes détaillées des sous-secteurs par grand secteur sont présentées en annexe. Chaque chapitre sectoriel présente, de façon plus détaillée, la structure du secteur traité et les émissions prises en compte.

Questions spécifiques de périmètre sectoriel

- **L'autoproduction d'électricité** et la cogénération sont comptabilisées dans le secteur producteur (par exemple l'industrie).
- Les usines d'incinération des déchets non dangereux (UIDND) avec **récupération d'énergie** sont regroupées dans le secteur " Extraction, production, transformation et distribution d'énergie », sous-secteur "Valorisation énergétique des déchets ".
- Les émissions des **véhicules routiers** sont basées sur les livraisons de carburants sur le territoire national, c'est-à-dire selon une approche dite *fuel sold* (et non une approche *fuel used*). Les émissions du transport routier sont celles des véhicules ayant fait une prise de carburant en France, quels que soient leurs nationalités et leurs parcours.
- Le **trafic maritime domestique** pris en compte dans le total national correspond à la définition donnée dans le référentiel EMEP/EEA, c'est à dire aux liaisons entre deux ports d'un même pays quelle que soit la nationalité du navire. De ce fait, la majeure partie des soutes maritimes françaises et étrangères n'entre pas dans le champ couvert pour la détermination des émissions nationales. Les émissions non retenues dans le total national sont rapportées séparément pour information.
- Pour le **trafic aérien**, les spécifications diffèrent entre la CCNUCC et la CEE-NU/NEC. Ces différences sont présentées dans le tableau ci-après. Par définition, le trafic domestique correspond à la liaison entre deux aérodromes français. Par ailleurs, pour les trafics entre la Métropole et l'Outre-mer, les émissions sont imputées pour moitié à chacune des deux entités.

CCNUCC (gaz à effet de serre)	**CEE-NU** (polluants atmosphériques)
Inclus dans le total national	
Tout le trafic aérien domestique	Le trafic aérien domestique et international < 1 000 m
Rapporté hors total national	
Tout le trafic aérien international	Le trafic aérien domestique et international ≥ 1 000 m

Spécification de rapportage des émissions de l'aviation

Concernant les gaz à effet de serre, les autres spécificités de la CCNUCC ont été mises en œuvre dans le rapport Secten par souci de cohérence. Les émissions de COVNM induites par l'application de peinture, le dégraissage, le nettoyage à sec, la fabrication et la mise en œuvre de produits chimiques ainsi que les autres utilisations de solvants (SNAP 0601, 0602, 0603 et 0604 de l'annexe 3) sont converties en **CO_2 ultime** et ajoutées au bilan CO_2. Le taux de conversion des COVNM en CO_2 est basé sur une valeur moyenne de la teneur en carbone dans les COVNM. La teneur en carbone varie selon l'activité (15% pour le nettoyage à sec à 92% pour la mise en œuvre de polyester). En moyenne, elle est de 69%. Cette conversion ne s'applique que depuis 1988 compte tenu du fait que les émissions de COVNM ne sont déterminées que depuis cette date. Pour les substances relatives à la pollution transfrontalière et au changement climatique, les émissions des sources non anthropiques sont comptées hors total national.

Conformément aux règles de calcul du GIEC et de rapportage des émissions au titre de la CCNUCC (liste de gaz à effet de serre avec des PRG à 100 ans), les inventaires nationaux de GES n'intègrent pas les **forceurs climatiques** à courte durée de vie telles que, notamment, le carbone-suie de la combustion, les traînées de condensation de l'aviation, ...

Pour ce qui est des **COV biotiques des forêts**, les émissions sont rapportées hors total national pour la CEE-NU et dans le total national pour la CCNUCC concernant les gaz à effet de serre indirect relatifs aux forêts gérées.

Pour les sources agricoles, les **émissions biotiques de NOx et de COVNM des sols**, auparavant comptées hors total national, sont, depuis l'édition 2021, incluses dans les émissions du secteur de l'agriculture conformément au guide EMEP. Cela nécessite de recalculer des émissions au périmètre précédent pour les comparer aux plafonds du Protocole de Göteborg et de la NEC (voir chapitre *Politique et Réglementation*).

Concernant les **feux de forêt**, pour les gaz à effet de serre (CO_2, CH_4 et N_2O), les émissions sont comptabilisées dans le secteur de l'UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) alors que pour les autres substances relatives à la pollution transfrontière, les émissions figurent hors total national.

Dans le cadre de la CEE-NU, 4 **HAP** sont retenus : indéno(1,2,3-cd)pyrène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène tandis que l'US EPA en considère 16, la réglementation française relative aux installations classées pour la protection de l'environnement 8 (norme AFNOR pour la mesure des HAP en cheminée, NF X43-329), la directive 2004/107/CE modifiée demande de mesurer le benzo(a)pyrène ainsi qu'au minimum 6 autres HAP (B[a]A, B[b]F, B[j]F, B[k]F, I[1,2,3-cd]P, DiB[a,h]), etc. La préoccupation sur les HAP a été fortement renforcée depuis l'entrée en vigueur, le 23 octobre 2003, du Protocole d'Aarhus sur les polluants organiques persistants. Les facteurs d'émission

différencient désormais dans la mesure du possible chacun des quatre HAP couverts par la CEE-NU mais aussi les 4 autres répondant à la norme NF X43-329, à savoir benzo(g,h,i)pérylène, dibenzo(a,h)-anthracène, fluoranthène et benzo(a)anthracène (présentés de façon très succincte dans cette édition de Secten).

Le total des émissions Secten est identique pour l'ensemble des polluants atmosphériques rapportés et les années communes avec la dernière mise à jour de l'inventaire "CEE-NU/NEC". Pour les gaz à effet de serre direct visés par le Protocole de Kyoto, le total des émissions des gaz à effet de serre directs correspond, pour les années communes, à celui de la dernière édition de l'inventaire "CCNUCC".

Questions fréquentes sur l'inventaire d'émission

Pourquoi estimer les émissions ?

Un inventaire d'émission est une représentation qualitative et quantitative des rejets d'une ou plusieurs substances (gaz à effet de serre (GES), polluants atmosphériques) provenant d'un ensemble de sources émettrices anthropiques ou naturelles répondant à des critères précis. Un inventaire est un indicateur de pression sur l'environnement.

Ces inventaires traduisent les émissions observées dans les années écoulées et peuvent aussi estimer les émissions probables dans le futur, selon différents scénarios (projections d'émissions).

Par ailleurs, les inventaires permettent de distinguer très finement les sources d'émissions et donc sont un outil d'aide à la décision politique précieux pour définir les pistes d'actions les plus pertinentes pour réduire les émissions.

Les pouvoirs publics s'attachent à disposer de données relatives aux émissions de polluants atmosphériques et de GES qui correspondent quantitativement et qualitativement aux différents besoins nationaux et internationaux. La collecte de ces données revêt un caractère prépondérant pour identifier les sources concernées, définir les actions de prévention et de réduction des émissions, informer les nombreux acteurs intervenant à divers titres et sur divers thèmes en rapport avec l'effet de serre et la pollution atmosphérique.

Ainsi, pour la problématique de la qualité de l'air, le calcul des émissions de polluants est complémentaire aux mesures de concentrations de polluants dans l'air ambiant. Pour la problématique des changements climatiques, le calcul d'émissions permet de connaître l'impact de chaque secteur et de chaque pays, de comparer les pays entre eux, et de comparer les émissions totales à des budgets carbone définis pour respecter certains objectifs, comme limiter la hausse globale moyenne de la température à +2°C voire +1,5°C.

Un inventaire, plusieurs formats de rapportage

Il n'existe qu'un seul inventaire national, recalculé chaque année. Chaque mise à jour de l'inventaire est associée à une année d'édition. A partir de cet inventaire, différentes extractions peuvent être réalisées, selon les périmètres choisis (avec Outre-mer ou non, etc.), et selon le découpage sectoriel retenu.

Ces différents formats de rapportage concernent à la fois les gaz à effet de serre et les polluants atmosphériques, selon les formats requis conformément aux engagements internationaux et européens de la France (CEE-NU, CCNUCC, UE, etc.) et aux besoins nationaux (Secten, Plan climat, Namea).

Les rapports d'inventaires d'émissions nationaux correspondants sont mis à jour chaque année. Ils diffèrent par leur contenu (polluants, couvertures géographiques et sectorielles, analyses, etc.) adapté au cadre institutionnel auquel il réfère (changements climatiques, pollution transfrontière, etc.). Les différents formats de rapportage de l'inventaire sont les suivants.

Gaz à effet de serre (GES)

- **NID :** rapport d'inventaire relatif au rapportage CCNUCC.
- **CCNUCC (*UNFCCC en anglais*) ou simplement « Convention » – tables CRT :** rapportage des GES sur l'ensemble du territoire (Métropole, Outre-mer UE, Outre-Mer non-UE) au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (articles 4 et 12).

Polluants atmosphériques

- **IIR :** Rapport d'inventaire relatif au rapportage CEE-NU.
- **CEE-NU (*UNECE en anglais*) – tables NFR :** rapportage des polluants atmosphériques au titre de la Convention sur la Pollution Atmosphérique Transfrontalière à Longue Distance (ou « convention air ») et de la directive européenne 2001/81/CE relative aux plafonds

d'émissions nationaux et son actualisation, directive 2016/2284.

- **GIC :** rapport d'inventaire français de polluants sur les grandes installations de combustion, dans le cadre de la directive européenne 2001/80/CE sur les grandes installations de combustion et la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles (IED).
- **Namea :** rapport fournissant les émissions de polluants dans l'air par agent économique selon la nomenclature NAMEA (*National Accounting Matrix with Environmental Accounts*)

Inventaires intégrés air et climat

- **Secten** : rapport et tableaux d'inventaire national par SECTeurs économiques et ENergie relatif aux émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine et de GES en France métropolitaine et Outre-mer inclus dans l'UE.
- **Outre-mer :** inventaire relatif aux émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre pour l'Outre-mer, par territoire - séries sectorielles.
- **Ominea** : rapport méthodologique (sans données) relatif à "l'Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France". Il concerne les informations méthodologiques relatives aux différents inventaires mentionnés ci-dessus, une description du système national d'inventaires d'émissions, et inclut une base de données.

L'inventaire est-il exhaustif ?

L'inventaire se veut l'estimation la plus complète possible des émissions anthropiques des substances contribuant directement ou indirectement à la pollution de l'air et au changement climatique. L'exhaustivité de l'inventaire peut donc se mesurer du point de vue du nombre de substances, et de sources prises en compte. 47 substances sont estimées dans l'inventaire en comptant les différentes molécules primaires formant les familles de HFC et PFC et plus de 500 avec la spéciation des COVNM.

Néanmoins, certains polluants non réglementés ou non visés par des Conventions, Protocoles, Accords ou directives ne sont pas estimés dans l'inventaire, comme certains métaux lourds (Vanadium, Antimoine, Cobalt, Titane, Fer, ...), les nanoparticules, les pesticides (voir le chapitre POP), les pollens et moisissures (surveillés par ATMO France). De même, les émissions de HAP présentés dans ce rapport concernent seulement les 4 HAP visés dans le cadre de la CEE-NU pour lesquelles il existe une obligation de rapportage et un engagement de réduction. Cependant, les émissions des HAP réglementés par la France dans le cadre de la réglementation ICPE sont par ailleurs estimées. Dans le cas des GES également, le rapport Secten présente les émissions des GES réglementés par la CCNUCC. Les CFC et HCFC, gaz à effet de serre qui étaient utilisés dans les aérosols et équipements de froid et de climatisation notamment, avant l'utilisation des HFC, sont également des GES ; cependant, l'arrêt progressif de leur utilisation étant déjà acté par le Protocole de Montréal, ils n'ont pas été inclus dans le périmètre du Protocole de Kyoto et leurs émissions ne sont donc pas rapportées dans les inventaires de GES. Il en est de même des HFO, appartenant à la famille des HFC insaturés (HFC à bas PRG récemment développés), qui ne sont actuellement pas couverts par les obligations de rapportage de la CCNUCC et donc pas comptabilisés dans les émissions de GES.

De plus, les remises en suspension de particules, c'est-à-dire les poussières, qui, une fois émises, peuvent se déposer au sol puis de nouveau se retrouver dans l'air ambiant, ne sont pas estimées. L'émission n'est comptabilisée qu'une seule fois, à la source, par souci d'éviter tout double compte.

Enfin, il faut noter que certains polluants sont des substances secondaires, non émises directement. Ainsi l'ozone troposphérique, problématique du point de vue de la qualité de l'air n'est pas estimé dans l'inventaire car il ne s'agit pas d'une substance directement émise dans l'air. C'est un polluant secondaire qui provient de réactions chimiques entre des polluants « précurseurs d'ozone » dont les émissions sont bien comptabilisées : NO_X, COVNM, CH_4, CO. Ces réactions chimiques sont favorisées par les températures élevées, l'intensité du rayonnement solaire, l'absence de vent, etc. Ainsi, l'ozone se forme, de façon générale, à la fin du printemps et en été. Il en va de même pour les particules secondaires. Ces dernières se forment à partir de polluants primaires émis à l'état gazeux (NOx, NH_3, SO_2, COVNM). Ces composés secondaires ne sont par conséquent pas estimés dans les inventaires nationaux.

Du point de vue des sources d'émissions

L'inventaire prend en compte l'ensemble des sources d'émissions identifiées et qu'il est possible d'estimer, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Ces estimations dépendent ainsi des connaissances scientifiques et des données disponibles (exhaustivité, qualité).

Les secteurs de l'inventaire national d'émissions couvrent l'ensemble des sources et des puits définis dans les guides internationaux :

- combustion dans l'industrie de l'énergie (production d'électricité, chauffage urbain, raffinage, etc.),
- combustion dans l'industrie manufacturière,
- combustion dans le transport (route, fer, voies navigables, maritime et aérien), qu'il s'agisse des émissions nationales et des émissions dites internationales (rapportées hors-total),
- autres secteurs de la combustion (résidentiel, tertiaire, agriculture/pêche),
- émissions fugitives de l'énergie (fuites, torchères) liées à l'extraction, production, transport des matières énergétiques (pétrole, gaz naturel, charbon),
- procédés industriels dont l'industrie des métaux ferreux et non ferreux, la chimie, l'industrie minérale (ciment, verre, chaux, etc.), la production et l'emploi de gaz fluorés (HFC, PFC, SF_6, NF_3), etc.,
- agriculture (engrais, cheptels), essentiellement NH_3, N_2O et CH_4,
- biomasse et sols, via l'utilisation des terres, leur changement, la forêt (UTCATF) : qui génère des émissions et des absorptions, résultant en un puits net.
- traitement des déchets (décharges, incinération des déchets sans récupération d'énergie), le traitement des eaux usées, etc.
- certaines émissions naturelles (volcans, éclairs, marais, COV biotiques…)

Remarque : certaines de ces sources d'émissions ne sont pas incluses dans les périmètres de rapportage CCNUCC ou CEE-NU. Elles sont présentées dans les résultats Secten « hors total » (émissions maritimes et aériennes internationales pour les GES, émissions maritimes internationales et émissions de l'aérien au-dessus de 1000 m pour les polluants, émissions des sources biotiques des forêts, émissions des sources non-anthropiques). Ces émissions hors total, en particulier naturelles ne sont pas exhaustives.

Quel est le périmètre géographique couvert par les différents formats d'inventaire ?

Le Citepa estime les émissions de l'ensemble des territoires français : France métropolitaine, départements et régions d'Outre-Mer, Pays et territoires d'Outre-mer (PTOM) non-inclus dans l'UE.

Ces émissions sont ensuite rapportées selon différents formats, dont les périmètres géographiques varient :

Format	Polluants	Gaz à effet de serre	**France métropolitaine**	**Départements et régions d'Outre-Mer inclus dans l'UE**	**Pays et territoires d'Outre-mer (PTOM) non-inclus dans l'UE**
			96 départements	Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte et Saint-Martin	Polynésie Fr., Wallis-et-Futuna, Nouvelle-Calédonie, St-Pierre-et-Miquelon, St-Barthélemy, Terres Australes et Antarctiques Fr.
Secten	**P**	**P**	**P**	**P (GES)**	O
Plan Climat	O	P	P	P	O
Outre-mer	P	P	O	P	P
NID/CCNUCC	O	P	P	P	P
Accord de Paris	O	P	P	P	O
IIR/CEE-NU	P	O	P	O	O
GIC	P	O	P	P	O
Namea	P	P	P	P	O

Emissions, concentrations, pollution…

Les données d'inventaire permettent d'évaluer la quantité de polluants atmosphériques et de GES qui a été émise au total chaque année, pour l'ensemble de la France. Ces données d'émission ne donnent pas d'information sur les problématiques plus locales et plus ponctuelles de pollution et de qualité de l'air, car :

- les données d'émission du Citepa sont estimées à l'échelle nationale (sans ventilation au niveau des zones urbaines ou rurales),

- les données d'inventaires nationaux d'émission sont annuelles et non ventilées dans le temps (les épisodes de pollution sont ponctuels),

- l'estimation des émissions (rapportées en quantités (ex : tonnes) de substances émises par an) diffère de celle des concentrations qui elles sont mesurées en quantité de substance par volume d'air ($\mu g/m^3$).

Les émissions correspondent aux quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère par les activités humaines ou par des sources naturelles. Même si la

qualité de l'air dépend des émissions, il n'y a pas de lien simple et direct entre les deux. La qualité de l'air dépend des concentrations de polluants et résulte de l'interaction complexe entre la quantité de polluants émise et toute une série de phénomènes physico-chimiques et météorologiques. Ainsi, une fois les polluants émis dans l'atmosphère, différents phénomènes physico chimiques et météorologiques entrent en jeu et agissent sur les concentrations de ces polluants : transport et dispersion par le vent et la pluie, dépôts, réactions chimiques (formation de particules secondaires à partir de polluants primaires à l'état gazeux (NOx et NH_3 notamment, mais aussi COV), formation d'ozone à partir de précurseurs favorisée par le rayonnement solaire), topographie, remise en suspension de particules déjà émises, etc. En clair, il n'y a pas de corrélations simples entre les quantités de polluants émises et les niveaux de concentrations de ces polluants dans l'air ambiant, même si c'est en agissant sur les sources d'émission que l'on peut espérer améliorer la qualité de l'air.

La méthode de calcul de l'inventaire est-elle publiée ?

La méthode de calcul de chaque secteur de l'inventaire est publiée sous forme de rapport et de base de données (« OMINEA » pour *Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France*). Ce rapport est remis à jour chaque année tout comme l'inventaire : chaque édition annule et remplace la précédente. Il est disponible librement en téléchargement sur le site internet du Citepa.

Ce rapport détaille, pour chaque secteur et sous-secteur, les données sources, les facteurs d'émissions, les hypothèses, les améliorations apportées, les incertitudes... Les méthodes utilisées pour chacune des catégories de sources émettrices sont spécifiées pour plusieurs dizaines de substances réparties par secteur dans le document descriptif Ominea. L'indexation sectorielle utilisée correspond au format international défini par les Nations Unies dans le cadre des Conventions relatives aux changements climatiques et à la pollution atmosphérique transfrontière.

Le document Ominea comporte une description du système national d'inventaires des émissions atmosphériques et de gaz à effet de serre, vis-à-vis de l'organisation, de la répartition des responsabilités et du champ couvert. Les dispositions techniques opérationnelles sont décrites et les éléments relatifs aux référentiels, au contrôle et à l'assurance qualité, à l'estimation des incertitudes, etc. sont fournis.

Ce document descriptif est complété par une base de données pour regrouper les différentes données méthodologiques associées, sous forme numérique.

Le rapport Ominea, comme les inventaires d'émissions, sont disponibles en lecture gratuite sur notre site www.citepa.org/fr/ominea.

Quels sont les grands principes de calcul des émissions ?

L'inventaire national français est réalisé selon les lignes directrices (*Guidelines*) du GIEC pour les GES et selon le Guide (*Guidebook*) EMEP/EEA pour les polluants atmosphériques. Ces guides définissent des grands principes ainsi que des paramètres de calcul par défaut (approche *tier 1*), au cas où le pays ne disposerait pas d'informations plus précises et pertinentes.

Selon l'importance d'une source d'émission, différents niveaux de méthode peuvent être appliqués, le GIEC comme l'EMEP/EEA définissant trois niveaux de précision : *tier 1, 2, 3 en anglais*. Les sources d'émission peuvent être classées selon leur part de contribution au total des émissions de GES et de PA. Elles sont dites clés lorsque, classées en part décroissante, elles apparaissent dans les émissions cumulées sous le seuil de 95% pour les GES et de 80% pour les PA. Pour ces sources clés, des niveaux de méthode 2 ou 3 doivent être appliqués.

Principe général de calcul :

Les émissions sont estimées pour chacune des activités émettrices élémentaires retenues pour l'inventaire en considérant séparément, s'il y a lieu, les différentes catégories de sources (surfaciques, grandes sources ponctuelles et grandes sources linéaires).

Les émissions d'une activité donnée sont exprimées par la formule générale et schématique suivante :

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} * F_{s,a}$$

avec E : émission relative à la substance "s" et à l'activité "a" pendant le temps "t"

A : quantité d'activité relative à l'activité "a" pendant le temps "t"

F : facteur d'émission relatif à la substance "s" et à l'activité "a".

Comment sont estimées les émissions de l'année passée ?

L'inventaire relatif aux années de 1990 (années antérieures parfois pour certaines substances) à l'année « N-2 » a été réalisé à la fin de l'année « N-1 » et publié l'année « N ». De plus, nous pré-estimons pour

publication l'année « N », un inventaire d'émissions de l'année « N-1 » en extrapolant la dernière année d'inventaire (N-2), soit en utilisant des indicateurs relatifs à l'année N-1, soit directement avec des données déjà disponibles pour cette année.

Méthode

Les émissions (N-1) pré-estimées sont généralement basées sur l'équation suivante :

$$E_{(N-1)} = A_{(N-1)} * F_{(N-2)}$$

avec E : émission

A : quantité d'activité

F : facteur d'émission relatif à la substance et à l'activité

Estimation de la donnée d'activité A (N-1) :

- Si disponible : l'activité (A) effective de l'année N-1 est utilisée, sinon
- Emission de l'année (N-1) venant directement de la source, sinon
- z
- Estimation de l'activité A (N-1) via un indicateur mensuel ou annuel quand il peut être associé à une activité par son évolution entre 2 années : le ratio d'évolution de l'indicateur N-1 / N-2 est utilisé sur l'activité A (N-2), sinon
- Si aucune donnée spécifique ou indicateur n'existe, un report simple de l'activité de la dernière année d'inventaire (N-2) est réalisé comme suit :

$$A_{(N-1)} = A_{(N-2)}$$

Sources des données

Le tableau ci-dessous présente les principales données utilisées pour la pré-estimation de l'année N-1 :

Secteur Secten	Source	Indicateur, données spécifiques ou report
Industrie de l'énergie	SDES/CPDP	Consommations d'énergie
	Sites de production d'électricité	Consommations d'énergie, émissions des sites de production d'électricité
	Raffineries	Emissions CO_2 des raffineries
	INSEE	Fours à coke, cokeries
	Rapport AFCE	Hypothèses HFC
	Report N-2	Décarbonatation sans indicateur, déchets, distribution de combustibles liquides, mines, utilisation de produits
Industrie manufacturière et construction	AGRESTE	Engrais
	INSEE	Productions industrielles
	SDES/CPDP	Consommations d'énergie
	Rapport AFCE	Hypothèses HFC
	Report N-2	Combustibles, procédés, décarbonatation et utilisation de produits sans indicateur, torchères, déchets
Traitement centralisé des déchets	Report N-2	Emissions des déchets
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	Douane française	Consommation de tabac
	INSEE	Population
	SDES/CPDP	Consommations d'énergie
	Rapport AFCE	Hypothèses HFC
	Report N-2	Combustibles et utilisation de produits sans indicateur, déchets
Agriculture, sylviculture et aquaculture hors UTCATF	SDES	Consommations d'énergie
	SSP/UNIFA/ADEME/Eurostat	Cultures/élevages
	Rapport AFCE	Hypothèses HFC
	Report N-2	Combustibles, cultures et élevages sans indicateur
Transports	DGAC	Transport aérien français
	INSEE	Transport ferroviaire
	SDES/CPDP	Consommations d'énergie
	Rapport AFCE	Hypothèses HFC
	Report N-2	Combustibles sans indicateur et utilisation de produits
Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie	BDIFF	Surfaces de forêts incendiées
	Report N-2	Tout sauf feux de forêt
	DGAC	Transport aérien hors contribution nationale

Emetteurs non inclus dans le total France	Centre spatial Guyanais	Lancements de fusées
	SDES	Consommations d'énergie
	BDIFF	Surfaces de forêts incendiées
	Rapport AFCE	Hypothèses HFC
	Report N-2	Utilisation de produits, émissions naturelles (hors feux de forêt)

ADEME : Agence de la transition écologique ; AFCE : Alliance froid climatisation environnement ; AGRESTE : statistiques agricoles du ministère de l'Agriculture ; CPDP : Comité professionnel du pétrole ; DGAC : Direction générale de l'aviation civile ; BDIFF : base de données sur les incendies de forêt en France ; Eurostat : Statistiques européennes ; INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques ; SDeS : Service de la donnée et des études statistiques ; SSP : Service de la statistique et de la prospective ; UNIFA : Union des industries de la fertilisation

Quels sont les guides méthodologiques appliqués par le Citepa dans l'inventaire ?

Dans le cadre de la CCNUCC, pour la comptabilisation des GES, toutes les Parties citées à l'annexe I dont la France, doivent mettre en œuvre les mêmes lignes directrices. A partir de 2014, la France a ainsi dû appliquer les lignes directrices du GIEC de 2006, et non plus de 1996, ce qui a entraîné des évolutions méthodologiques importantes. Celles-ci ont eu des impacts notables sur les secteurs agriculture et traitement des déchets. A partir de 2023, la mise à jour (raffinement) de 2019 des lignes directrices de 2006 (non obligatoire) sont appliquées ce qui entraine de nouvelles évolutions méthodologiques.

	Édition	Utilisation dans l'inventaire
GIEC – Gaz à effet de serre	Raffinement des lignes directrices pour la réalisation des inventaires, 2019	à partir de 2023 (non obligatoire)
	Lignes directrices pour la réalisation des inventaires, 2006	Source principale et obligatoire dans le cadre de la CCNUCC
	Guide des bonnes pratiques sur les incertitudes, 2006	Pour le calcul des incertitudes sur le calcul des émissions
	Guide des bonnes pratiques sur l'UTCATF, 2003	Pour le secteur UTCATF
	Supplément pour l'UTCATF dans le Protocole de Kyoto, 2013	Pour le rapportage de l'UTCATF dans le cadre du Protocole de Kyoto
	Supplément pour les Zones Humides, 2013	Pour le secteur agriculture
	Lignes directrices 1994 et Lignes directrices révisées 1996	Obsolètes, non utilisés
EMEP – Polluants atmos-phériques	Guide EMEP/EEA, 2023	Principalement utilisé
	Guide EMEP/EEA, 2019	Encore utilisé
	Guide EMEP/EEA, 2016	Ancienne version
	Guide EMEP/EEA, 2013	Ancienne version
	Guides EMEP/CORINAIR* (1996 à 2007) et EMEP/EEA (2009)	Obsolètes, non utilisés

Guides utilisés dans l'inventaire national.

*Dans le cadre du système européen CORINE (*CoORdination of INformation of the Environment*) mis en place dans les années 1980, le projet CORINAIR été développé dès 1985 pour mettre en place une méthodologie européenne commune d'inventaire des émissions. Le Citepa en était à l'origine le chef de projet et a piloté les premiers développements méthodologiques, et notamment la définition d'une nomenclature des sources d'émissions (SNAP).

Quels sont les PRG utilisés par le Citepa dans l'inventaire ?

Le GIEC a mis au point un indice, le pouvoir de réchauffement global (PRG) représentant l'impact d'un GES sur le climat, en comparaison au CO_2 dont le PRG est fixé arbitrairement à 1. Cet indice permet de convertir les émissions directes des GES en "**équivalent CO_2**" (**CO_2e**). Cette métrique permet notamment de comparer l'impact relatif des gaz à effet de serre sur le changement climatique et de définir des objectifs de réduction chiffrés en CO_2e pour les émissions de l'ensemble des GES. Le PRG représente la capacité relative d'un gaz à effet de serre à participer au forçage radiatif (*équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère*). Il correspond au forçage radiatif cumulé sur une période

donnée (la période de référence a été fixée à 100 ans dans le cadre de la CCNUCC) induit par une quantité de GES émise. Par exemple, l'émission d'une tonne de CH_4 équivaut à l'émission de 28 t CO_2 selon les valeurs de PRG en vigueur aujourd'hui dans les inventaires (PRG AR5) (voir tableau ci-dessous).

Le PRG de chaque GES est déterminé par le GIEC au fur et à mesure de ses rapports d'évaluation (*Assessment Reports* ou AR). Le cinquième rapport d'évaluation du GIEC est paru en 2014. Toutefois, conformément aux exigences de la CNUCCC, les valeurs des PRG du 4ème rapport d'évaluation (2007) étaient restées utilisées dans les inventaires, jusqu'à la fin de la seconde période d'engagement du Protocole de Kyoto (2013-2020). Depuis le rapportage des inventaires de GES en 2023 avec la dernière année d'inventaire 2021, les PRG à utiliser sont ceux du 5ème rapport d'évaluation (AR5-2014).

	Pouvoir de réchauffement global à 100 ans					
Gaz à effet de serre	D'après le 1er rapport (« FAR ») de 1990	D'après le 2e rapport (« SAR ») de 1995	D'après le 3e rapport (« TAR ») de 2001	D'après le 4e rapport (« AR4 ») de 2007	**D'après le 5e rapport (« AR5 ») de 2014**	D'après le 6e rapport (« AR6 ») de 2021
CO_2	1	1	1	1	**1**	1
CH_4	21	21	23	25	**28**	27,9
N_2O	290	310	296	298	**265**	273
HFC*	140 à 2 900	140 à 11 700*	12 à 12 000*	124 à 14 800*	**<1 à 12 400***	4,84 à 14 600*
PFC*	n.e.	6 500 à 9 200*	5 700 à 11 900*	7 390 à 12 200*	**<1 à 11 100***	0,004 à 12 400*
SF_6	n.e.	23 900	22 200	22 800	**23 500**	25 200
NF_3	n.e.	n.e.	n.e.	17 200	**16 100**	17 400
Utilisation dans l'inventaire	Jamais	Référence obligatoire dans les inventaires publiés jusqu'en 2015	Jamais	Référence obligatoire dans les inventaires publiés jusqu'en 2022	**Obligatoire / valeurs de référence actuelles à partir de 2023**	*A déterminer par la COP (CCNUCC)*

Valeurs de PRG utilisées dans l'inventaire. *Pour les HFC et PFC, le PRG varie en fonction de l'espèce considérée. Ici ne sont indiquées que les valeurs les plus faibles et les plus élevées. Sources : FAR WGI chap.2 p.60; SAR WGI chap.2 p.121 ; TAR WGI chap. 4 p.244 ; AR4 WGI chap.2 p.212-213 ; AR5 WGI chap.8 p.731-737. n.e. : non estimé

Dans l'inventaire les émissions de chaque GES sont calculées en masse, puis converties en équivalent CO_2. Pour les calculer, **les valeurs de PRG utilisées sont celles, sur 100 ans, de l'AR5 de 2014** actuellement. En effet, depuis le rapportage, en 2023, de l'inventaire 1990-2021, la France dans le cadre du règlement UE de gouvernance énergie-climat doit utiliser ces valeurs. Cette obligation prévaut également dans le cadre de l'application de l'Accord de Paris à partir de l'inventaire à rapporter à la CCNUCC en 2024.

L'inventaire d'émissions prend-t-il en compte les puits de carbone ?

L'inventaire des émissions de GES consiste à répertorier les flux anthropiques de GES : il s'agit surtout d'émissions mais certains de ces flux sont des flux d'absorption. Actuellement, seul le secteur UTCATF (*Utilisation des terres, changements d'affectation des terres et forêt)* présente des flux d'absorption de CO_2.

Puits de carbone dans le secteur UTCATF

La croissance de la biomasse dans les forêts gérées et les changements d'utilisation des terres (conversion de surfaces d'une utilisation à une autre, par exemple urbanisation, déforestation, reforestation) sont à prendre en compte en tant qu'activités humaines agissant sur les flux de GES. La particularité de ce secteur est donc qu'il représente à la fois une source (émission ou 'déstockage') et un puits (absorption ou 'stockage') de GES. En France, le bilan global de l'UTCATF est un puits (le solde entre émissions et absorptions est négatif). L'UTCATF n'est pas identique au secteur Agriculture : l'UTCATF traite toutes les questions relatives au carbone, depuis la biomasse vivante jusqu'à la matière organique des sols, et quelques émissions associées (brûlage, etc.). De son côté, le secteur Agriculture comprend les émissions des sols liées à la fertilisation et à l'élevage ainsi que les émissions de particules liées au travail du sol. De manière schématique, le secteur UTCATF correspond à un découpage du territoire en unités géographiques (telles que les forêts, les cultures, les prairies, les zones humides, etc.) sur lesquelles les

différents flux, émissions et absorptions liées à l'utilisation du sol, sont estimés.

Les résultats des inventaires d'émissions de GES sont généralement présentés en précisant si ce secteur est pris en compte ou non ("total hors UTCATF").

Puits de carbone dans les autres secteurs hors UTCATF

Les technologies de captage et de stockage du carbone sont encore très peu développées en France. Quelques sites industriels ont recours ou ont eu recours à ces technologies. Dans ce cas, le CO_2 émis par ce site n'inclut pas le CO_2 qui a été capté : ce puits artificiel est pris en compte, mais pas comptabilisé séparément.

La Stratégie nationale bas carbone révisée en 2020 (SNBC-2) prévoit un recours au captage et stockage de carbone (CCS) progressif dans les années 2030-2040. La SNBC-3 provisoire confirme le recours à la capture carbone à horizon 2050 afin d'atteindre l'objectif de neutralité. A horizon 2030, elle prévoit un volume capté dans le secteur de l'industrie (principal secteur pour lequel des émissions pourraient être incompressibles) de l'ordre 6,6 Mt CO_2. Ainsi, si cette activité se développe effectivement, les valeurs captées pourront être présentées à part.

Quels sont les GES pris en compte ? Les GES indirects sont-ils inclus ?

Tous les gaz à effet de serre direct sont pris en compte dans l'inventaire : CO_2, CH_4, N_2O, la famille des HFC, la famille des PFC, le SF_6 et le NF_3. Parmi les HFC, les HFO, appartenant à la famille des HFC insaturés (HFC à bas PRG récemment développés), ne sont actuellement pas couverts par les obligations de rapportage de la CCNUCC. Ils ne font donc pas partie du périmètre Secten et n'apparaissent pas dans le total des émissions de GES présenté. Les émissions de HFO, actuellement très faibles, sont cependant calculées par le Citepa et pourront faire l'objet d'une analyse complémentaire dans un prochain rapport Secten.

Quatre autres gaz ont une action indirecte sur l'effet de serre en tant que polluants primaires intervenant dans la formation de polluants secondaires comme l'ozone ou les aérosols. Ces gaz, appelés des **gaz à effet de serre indirects**, n'entrent pas dans le "panier" de Kyoto. Ils sont cependant inclus dans l'inventaire avec les conventions suivantes :

- **CO**, monoxyde de carbone exprimé en CO. Dans l'atmosphère, le CO s'oxyde en CO_2,
- **COVNM**, composés organiques volatils non méthaniques exprimés en somme de COV en masse (et non en équivalent carbone). Dans l'atmosphère, les COV s'oxydent également en CO_2,
- **NOx** (NO + NO_2), exprimés en équivalent NO_2.

Ces deux familles de composés (COVNM et NOx) interagissent selon des réactions complexes dans l'atmosphère pour former de l'ozone qui contribue à l'effet de serre.

- **SOx** (SO_2 + SO_3), exprimés en équivalent SO_2.

Les oxydes de soufre ont indirectement une action de refroidissement climatique car ils servent de noyaux de nucléation à des aérosols dont l'albédo est assez élevé.

Les émissions de ces quatre GES indirects sont également rapportées à la CCNUCC par les Parties dans le cadre de leurs inventaires.

L'inventaire prend-il en compte les émissions importées ? Quelle différence entre inventaire et empreinte ?

Les directives de la CCNUCC pour l'élaboration des inventaires d'émission de GES prévoient la seule prise en compte des émissions liées aux activités nationales à l'intérieur des frontières (approche ***territoriale***). La méthodologie ne prend donc pas en compte les importants flux d'émissions amont de GES liées aux pays producteurs de biens consommés dans le pays d'inventaire (émissions dites ***importées***).

Par conséquent, les émissions de GES associées aux biens importés pour la consommation intérieure des Etats ne figurent pas dans leurs inventaires nationaux. A l'inverse, les émissions liées aux biens fabriqués dans les pays producteurs et exportés sont comptabilisées dans les inventaires nationaux alors que ces biens exportés ne sont pas consommés sur place.

Le Citepa suit de près le sujet des émissions amont depuis plusieurs années et a publié des synthèses de nombreux rapports ou études réalisés en France, dans l'UE et à l'international.

- Lire notre analyse sur la comparaison entre les deux approches, leur méthodologie, leur contexte et leur complémentarité. Extrait du Rapport Secten édition 2020.
- Lire notre analyse sur la publication, en octobre 2021, de la mise à jour par le SDES de la méthodologie d'estimation de l'empreinte

carbone de la France. Ce recalcul implique une empreinte significativement plus faible qu'auparavant et peut donner lieu à de nouvelles interprétations sur la conduite des politiques publiques de décarbonation.

- Lire notre analyse sur la comparaison de l'empreinte carbone de l'UE, comparant les composantes de l'empreinte des différents Etats membres entre eux et avec d'autres pays du monde.
- Publication d'une étude sur la répartition de l'empreinte carbone des Français - Citepa
- Chiffres officiels de l'empreinte carbone nationale Fr site SDES : L'empreinte carbone de la France de 1995 à 2022 | Données et études statistiques (developpement-durable.gouv.fr)

Le même principe s'applique aux émissions de polluants atmosphériques.

Comment est comptabilisée la biomasse énergie pour ses émissions de CO_2 ?

Les émissions de CO_2 de la biomasse dans l'inventaire sont bien comptabilisées

La combustion de la biomasse (quelle qu'elle soit) émet du CO_2. En fonction de la réglementation considérée, tant du point de vue national que du point de vue international, des définitions différentes de la biomasse existent. En France, la biomasse est définie dans la rubrique n°2910 dans la nomenclature ICPE. Elle est cohérente avec la définition des directives européennes, notamment la directive émission industrielle 2010/75/UE, etc. L'utilisation de biomasse énergie (sous forme de bûches, pellets, plaquettes, résidus de cultures…) est généralement associée à l'idée de facteur d'émission zéro, comme c'est le cas dans les déclarations d'émissions des sites industriels dans le cadre du Système européen d'échange de quotas d'émissions (SEQE). Ce facteur d'émissions ne signifie pas forcément que l'usage de biomasse est neutre en carbone.

Dans l'inventaire, lorsque l'on récolte du bois (matière riche en carbone), on comptabilise directement cette perte de carbone du compartiment « biomasse forestière » comme une **émission** de CO_2 vers l'atmosphère. Cette émission peut être retardée (mais non annulée) si ce carbone du bois récolté est stocké temporairement dans un meuble ou une charpente par exemple. Par ailleurs, la croissance des arbres (et donc la fabrication naturelle de bois) dans les forêts gérées est aussi comptabilisée dans l'inventaire, tout comme la mortalité des arbres. L'ensemble de ces flux, qu'il s'agisse d'absorption de CO_2 (gain de carbone dans la biomasse) ou d'émission de CO_2 (perte de carbone par prélèvement de bois, mortalité, feux de forêt…), sont comptabilisés dans le secteur UTCATF (Utilisation des terres, changements d'affectation des terres et forêt).

De manière plus détaillée, il existe des différences de traitement dans les inventaires selon le type de biomasse considérée. On distingue ainsi la biomasse de cycle court, par exemple les pailles des céréales, et la biomasse de cycle long, typiquement le bois (matériau ligneux).

Pour la biomasse de **cycle court**, les émissions de CO_2 ne sont pas rapportées dans les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre, car il est considéré que le cycle du carbone n'est pas fortement modifié par la combustion. En effet, lorsqu'un blé croît, il capte du carbone atmosphérique pour constituer sa propre biomasse. Si les pailles sont brûlées, le carbone est libéré par la combustion. Si elles ne sont pas brûlées, le carbone est également libéré après dégradation de la paille ou consommation par les animaux. Il serait possible de faire un bilan entre la croissance des plantes et la libération de ce carbone dans l'atmosphère par combustion ou dégradation mais le retour à l'atmosphère du carbone n'est pas fortement accéléré par la combustion. Sur un bilan annuel on considère, conformément au GIEC, que les quantités de carbone libérées sont équivalentes aux quantités captées pour la biomasse de cycle court. Une hypothèse de neutralité est appliquée pour la biomasse de cycle court.

Pour la biomasse de **cycle long**, comme le bois, la situation est différente car il peut y avoir un écart important sur un territoire donné entre les quantités de carbone capté par des surfaces boisées et les quantités de carbone émises (ou exportées). Lorsque les quantités de carbone captées par les surfaces boisées sont plus importantes que les quantités libérées, le stock de carbone dans la biomasse du territoire augmente et constitue ce qu'on appelle un « puits de carbone ». Inversement, des territoires peuvent déstocker du carbone accumulé depuis des décennies voire des siècles, ces territoires constituent alors des « sources de carbone ». C'est sous cet angle qu'est considéré, dans le cadre des inventaires, le carbone contenu dans la biomasse. Et c'est pour cette raison que les émissions et absorptions de CO_2 biomasse sont rapportées sous le secteur UTCATF (utilisation des terres, changements d'affectation des terres et forêt). Du fait de cette prise en compte dans le secteur UTCATF, les émissions de CO_2 biomasse ne sont pas incluses dans le secteur énergie même en cas d'une utilisation énergétique de la biomasse. Ce n'est pas une hypothèse de neutralité qui est appliquée pour la biomasse de cycle long (celle-ci n'est pas valable sur l'horizon de temps considéré à savoir environ un siècle). C'est une allocation spécifique orientée selon le point de vue producteur de bois

(forestier) et non selon le point de vue consommateur de bois.

Pour information, les émissions de CO_2 liées à la combustion de biomasse à finalité énergétique sont indiquées en aparté (hors total) dans les inventaires. Par conséquent, lorsque du bois est brûlé pour un usage énergétique dans un site industriel (secteur Industrie) ou chez un particulier (secteur Résidentiel), l'émission de CO_2 associée ne doit pas être comptabilisée dans ces secteurs car elle a déjà été prise en compte dans le secteur UTCATF dès la récolte du bois. Néanmoins, ces émissions de CO_2 biomasse dans les secteurs consommateurs sont indiquées, en hors total, pour éviter tout double compte, et à simple titre d'information.

Questions de transparence

L'inventaire est-il transparent ?

L'inventaire répond à des règles et des normes définies au niveau international. Le respect de ces règles assure que les inventaires de chaque pays sont les plus transparents, les plus rigoureux et fiables possibles ; et qu'ils s'améliorent à chaque édition. Pour vérifier cela, des audits, ou revues internationales, sont organisées chaque année par les Nations-Unies et l'UE.

Transparence/traçabilité : cette caractéristique est fondamentale pour permettre l'évaluation de l'inventaire et assurer sa mise à jour dans les meilleures conditions. Au cours de la phase d'élaboration, la traçabilité des informations permet de retrouver les causes d'erreur détectées lors des contrôles ou encore d'expliquer les évolutions des émissions entre différentes années ou versions de l'inventaire. Notamment les deux processus clés de l'Accord de Paris sont la transparence renforcée et le rehaussement de l'ambition climatique, le premier permettant d'évaluer le second.

L'inventaire est-il fiable ?

Selon les bonnes pratiques du GIEC, les inventaires doivent notamment respecter les qualités suivantes :

- **Exhaustivité** : toutes les sources entrant dans le champ de l'inventaire, notamment en fonction des substances étudiées et d'éventuelles règles d'exclusion, sont à renseigner,
- **Exactitude** : les méthodes utilisées doivent permettre une estimation aussi exacte que possible des émissions/absorptions. Toutefois, des incertitudes relativement élevées, variables selon les types de sources, les substances et bien d'autres paramètres accompagnent les inventaires,

Il convient d'examiner tout particulièrement ce critère dans le cadre de la stratégie mise en œuvre en fonction des objectifs à atteindre. Ce travail permet de prioriser les travaux en termes d'amélioration des inventaires,

- **Cohérence** : cette qualité met en exergue la nécessité de mettre en œuvre des méthodes homogènes entre les sources, lorsque pertinent, ainsi qu'au cours des années. Les hypothèses effectuées pour une partie de l'inventaire ne doivent pas être incohérentes avec celles avancées pour d'autres parties,

Il convient d'attirer l'attention sur la comparaison d'inventaires relatifs à deux années : les écarts observés peuvent être dus à des évolutions circonstancielles (évolution économique, démographique, impact de la réglementation, action de réduction des émissions, etc.) mais également à des artefacts méthodologiques. Ainsi, l'obtention de la cohérence temporelle nécessite de faire des estimations rétrospectives notamment lorsque des améliorations successives sont apportées à l'inventaire, ce qui ne peut se concevoir que dans le cadre de système d'inventaires d'émissions bien conçus,

- **Comparabilité** : les résultats sont généralement utilisés à des fins de comparaison comme indicateurs d'appréciation de la pression sur l'environnement. Cette comparaison peut être intrinsèque à l'entité faisant l'objet de l'inventaire mais est fréquemment en rapport avec d'autres informations similaires concernant d'autres entités sectorielles et/ou géographiques. Le risque est alors très élevé de comparer des ensembles non homogènes établis sur des bases divergentes (définitions, méthodes). Pour obtenir une bonne comparabilité, les qualités précitées doivent être appliquées à tous les éléments constitutifs de l'inventaire.

L'inventaire est-il vérifié ?

Principes

Un objectif important des règles associées aux inventaires nationaux est de permettre aisément l'évaluation de la qualité qui leur est associée. À cette fin, les bonnes pratiques prévoient la mise en œuvre de procédures d'assurance et de contrôle de la qualité

(AQ/CQ), et de vérification pour les inventaires. Ces procédures permettent également de déterminer les améliorations à apporter aux inventaires.

Les recommandations visent à atteindre la dimension pratique, l'acceptabilité, la rentabilité, l'intégration de l'expérience actuelle et la possibilité d'une application à l'échelle mondiale. Un programme AQ/CQ et de vérification contribue aux objectifs des bonnes pratiques dans le développement d'un inventaire, à savoir l'amélioration de la transparence, la cohérence, la comparabilité, l'exhaustivité et l'exactitude des inventaires nationaux d'émission.

Un programme AQ/CQ et de vérification fait partie intégrante du procédé d'élaboration des inventaires français. Les procédures AQ/CQ et de vérification peuvent conduire à une réévaluation des chiffres de l'inventaire et/ou à des améliorations ultérieures des estimations des émissions ou absorptions. Des procédures AQ/CQ peuvent, par exemple, montrer que des efforts doivent être apportés pour améliorer certaines variables de la méthode d'estimation pour une catégorie de source spécifique.

Les termes "contrôle de la qualité", "assurance de la qualité" et "vérification" sont souvent utilisés différemment. Les définitions de CQ, AQ et vérification sont présentées ci-après, dans le cadre des GES.

Outre les contrôles et vérifications planifiés au niveau national, des vérifications au niveau international et européen sont réalisés chaque année pour les inventaires de GES et de polluants par les Nations-Unies et l'UE, cf. section « L'inventaire est-il évalué par des organismes tiers ? ».

AQ/CQ et vérification : définitions

Le **contrôle de la qualité (CQ)** est un système d'activités techniques systématiques destinées à mesurer et contrôler la qualité de l'inventaire lors de son élaboration. Il est réalisé par les personnes responsables de la compilation de l'inventaire. Le système CQ vise à :

- fournir des contrôles systématiques et cohérents destinés à assurer l'intégrité, l'exactitude et l'exhaustivité des données ;
- identifier et corriger les erreurs et omissions ;
- documenter et archiver le matériel de l'inventaire et consigner toutes les activités CQ.

Les activités de CQ incluent des méthodes générales telles que des contrôles d'exactitude pour l'acquisition des données et les calculs, et l'utilisation de procédures normalisées approuvées pour le calcul des émissions et des absorptions, les mesures, l'estimation des incertitudes, l'archivage et la présentation des informations. Les activités CQ incluent également des examens techniques des catégories de source, des données sur les activités, des facteurs d'émission et autres paramètres d'estimation, et des méthodes.

Les activités **d'assurance de la qualité (AQ**) sont un système planifié de procédures d'examen mises en œuvre par des personnes n'ayant pas participé directement à la compilation ni au développement de l'inventaire. Les examens, effectués de préférence par des tiers indépendants, sont réalisés pour un inventaire terminé, pour donner suite à la mise en œuvre de procédures CQ.

Les examens vérifient que les objectifs mesurables (objectifs de qualité relatifs aux données) ont été atteints, que l'inventaire représente les meilleures estimations possibles des émissions et des absorptions dans l'état actuel des connaissances scientifiques et des données disponibles, et sont complémentaires au programme CQ.

On entend par **vérification** l'ensemble des activités et procédures qui peuvent être mises en œuvre pendant la planification et l'élaboration d'un inventaire, ou au terme de celui-ci, et qui peuvent contribuer à établir sa fiabilité pour les applications prévues de l'inventaire. Dans le cadre des présentes recommandations, ce terme réfère précisément aux méthodes externes à l'inventaire et qui appliquent des données indépendantes, comme des comparaisons avec les estimations d'inventaires réalisées par d'autres organismes ou à l'aide d'autres approches, notamment les observations satellitaires combinées à la modélisation inverse. Les activités de vérification peuvent faire partie à la fois des procédures AQ et CQ, selon les méthodes utilisées et selon le stade auquel des informations indépendantes sont utilisées.

L'inventaire est-il évalué par des organismes tiers ?

L'inventaire de la France est régulièrement audité dans des contextes européens et internationaux et par des organismes tiers.

Par exemple, pour ce qui est des émissions de GES, conformément aux dispositions de la CCNUCC, du Protocole de Kyoto et à présent de l'Accord de Paris l'inventaire national des émissions de GES des Parties soumises à engagement fait l'objet d'une évaluation (*review*) sous différentes formes chaque année pour vérifier la conformité avec les spécifications onusiennes (cohérence, exhaustivité, précision, transparence, organisation et gestion du système d'inventaire, assurance et contrôle de la qualité, etc.). Chaque inventaire des Parties soumises à engagement fait l'objet d'une évaluation "*in-country*" de la part d'une équipe internationale se rendant dans le pays, au moins une fois durant une période d'engagement au titre du Protocole

de Kyoto. Il en est de même pour l'inventaire national des polluants atmosphériques, revus par l'UE et la CLRTAP.

Ainsi, les inventaires français, au même titre que les inventaires des autres Parties, sont vérifiés et validés chaque année par une équipe de pairs internationaux (*reviewers* ou auditeurs CCNUCC/CLRTAP/UE) qui posent des questions très précises sur les méthodes suivies ainsi que sur les sources d'information, qui peuvent remettre en cause les éventuelles estimations qui ne répondraient pas aux lignes directrices (GIEC / EMEP-EEA). Si des sous-estimations (avec un biais significatif, supérieur ou égal à 0,05% du total national pour les GES) sont détectées, les Etats sont dans l'obligation de réviser leur inventaire. La correction ou la nouvelle méthodologie mise en œuvre doit être validée par l'équipe de vérification avant validation de l'inventaire révisé.

Pourquoi est-ce le Citepa qui calcule cet inventaire ?

En 1961, le Comité d'Action Technique contre la Pollution Atmosphérique (CATPA), dont le Président était Louis Armand, a pris la décision de créer un organisme indépendant dans le but de promouvoir des études et des recherches afin d'améliorer la connaissance des différents problèmes de pollution atmosphérique. Le Citepa est ainsi créé. En 1966, un premier exercice d'inventaire est réalisé, relatif aux émissions de SO_2 à Paris et sa Petite-Couronne. En 1985, le Citepa est nommé Chef de Projet du programme européen CORINAIR (CORe INventory of AIR Emissions in Europe) par la Commission européenne. En 1993, un premier inventaire des grandes installations de combustion est publié. En 1994, le premier inventaire national d'émissions de polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre, relatif à 1990, est publié, dans le cadre de CORINAIR. Compte tenu des compétences et des données accumulées au Citepa sur ces exercices, le ministère de l'Environnement a ensuite chargé le Citepa de réaliser :

- le premier inventaire national d'émissions de GES selon le format (« IPCC ») défini par le GIEC en 1997 ;

- le premier inventaire national d'émissions de polluants atmosphérique au format CEE-NU en 1998 ;

- le premier rapport d'inventaire d'émissions au format Secten en 1999 ;

- le premier inventaire national d'émissions de GES au format CCNUCC en 2000 ;

- le premier rapport pour l'Outre-mer en 2013.

Le rôle du Citepa dans la réalisation des inventaires nationaux pour le compte du Ministère en charge de l'Environnement dans le cadre des engagements internationaux et nationaux de la France a été formalisé en 2006 avec la mise en place officielle du Système national d'inventaires des émissions de polluants atmosphériques (SNIEPA) (arrêté du 29 déc. 2006), puis renforcé en 2011 avec la transformation du SNIEPA en Système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère (SNIEBA) (arrêté du 24 août 2011 modifié). Ainsi, c'est pour des raisons historiques que notre organisme a été amené à concentrer en son sein une forte expertise sur les méthodes d'estimation et de suivi des émissions, la connaissance des données sources et des formats de rapportage. Le rôle du Citepa est de respecter les normes fixées par les règles internationales en réalisant un inventaire fiable, transparent, rigoureux. Dans ce cadre, et pour cette activité, le Citepa a une mission confiée par l'Etat de Service d'Intérêt Economique Général (SIEG).

Comment la réalisation de l'inventaire français est-elle encadrée ?

Le Citepa met à jour chaque année l'inventaire d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques. Il s'agit du même inventaire, et de la même procédure : les différentes sources d'émissions sont estimées une à une, avec des méthodes différentes.

L'organisation du système national d'inventaires actuel en France a fait l'objet de **l'arrêté du 24 août 2011 relatif au système d'inventaires d'émission de GES et de polluants atmosphériques et de bilans (SNIEBA)**.

Cette organisation est compatible avec le cadre directeur des systèmes nationaux prévu par le Protocole de Kyoto (article 5, paragraphe 1er et décision CMP.1 annexée à la décision 20/CP.7 de la CCNUCC) et aux articles 3 et 4 de la décision 280/2004/CE du Parlement européen et du Conseil (de l'UE) relative à un mécanisme pour surveiller les émissions de GES dans l'UE.

Les responsabilités sont réparties comme suit :

- La **maîtrise d'ouvrage de la réalisation des inventaires et la coordination d'ensemble du système** sont assurées par le **Ministère en charge de l'Environnement**.
- **D'autres ministères et organismes publics** contribuent aux inventaires d'émission par la mise à disposition de **données et statistiques** utilisées dans l'élaboration des inventaires.
- L'**élaboration des inventaires d'émission** incluant la mise au point des **méthodes de calcul** et de leurs **évolutions,** la **collecte et** le **traitement des données,** l'**archivage,** la **réalisation des rapports et divers supports,** la gestion du **contrôle** et de la **qualité**, est confiée au **Citepa** par le Ministère en charge de l'Environnement. Le Citepa assiste le Ministère dans la coordination d'ensemble du système national d'inventaire des émissions de polluants dans l'atmosphère. A ce titre, il convient de mentionner la coordination qui doit être assurée entre les inventaires d'émission et les registres d'émetteurs tels que l'E-PRTR et le registre des quotas d'émission de GES dans le cadre du système européen d'échange de quotas d'émission de GES, sans oublier d'autres aspects (guides publiés par le Ministère, système de déclaration annuelle des rejets de polluants, etc.) pour lesquels il est important de veiller à la cohérence des informations.

Ce système de gouvernance, dont les principes fondamentaux reprennent les recommandations et bonnes pratiques formulées aux plans international et européen, est conçu avec l'objectif de répondre aux différents besoins en matière d'inventaires d'émission. Le rapport Ominea fournit des informations détaillées sur les méthodes utilisées par secteur d'activité. Les catégories de sources prises en compte et leur contenu sont détaillés dans l'annexe relative à la nomenclature étendue SNAP 97c.

Les inventaires d'émission doivent garantir la cohérence, comparabilité, transparence, exactitude, ponctualité, exhaustivité qui conditionnent l'organisation du système tant au plan administratif que technique. Pour ce qui est du rapportage officiel de l'inventaire d'émissions de **gaz à effet de serre**, chaque année, l'inventaire national d'émission de GES de la France de l'année N-2 est transmis à la Commission européenne au 15 janvier de l'année N pour vérification, puis au 15 mars pour agrégation de l'inventaire de l'UE pour communication à la CCNUCC au 15 avril.

Pour ce qui est du rapportage officiel de l'inventaire d'émissions de **polluants** atmosphériques chaque année, l'inventaire national d'émission de polluants atmosphériques de la France de l'année N-2 est transmis au secrétariat de la CRLTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière) au 15 février de l'année N pour ce qui est des chiffres d'inventaire (au format NFR), puis au 15 mars pour ce qui est du rapport d'inventaire (IIR) , à la fois à la CRLTAP et pour l'UE (au titre de la directive NECD, directive européenne concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques).

Questions d'incertitudes

Comment les incertitudes sont-elles évaluées ?

En sciences exactes, chaque valeur mesurée ou estimée doit être accompagnée d'un niveau d'incertitude. Les estimations réalisées dans les inventaires d'émissions ont ainsi les incertitudes associées estimées. Le niveau d'incertitude varie selon différents critères tels que les catégories sources, l'évolution des méthodologies et les types des données sources. Une telle analyse permet ainsi d'évaluer la précision des inventaires et d'orienter les besoins d'améliorations et les décisions sur les choix méthodologiques.

Cette tâche d'évaluation des incertitudes est particulièrement complexe car, dans un grand nombre de cas, les données sur lesquelles est basé le calcul d'incertitude sont constituées par des informations de qualité diverses telles qu'un avis d'expert ou encore de données non structurées pour les applications pressenties, introduisant *de facto* de possibles biais, etc.

Par ailleurs, les données statistiques telles que celles fournies dans les bilans énergétiques ou les productions publiées par les organismes statistiques officiels ne comportent généralement aucune information sur l'incertitude liée à ces données.

Pour les gaz à effet de serre, les lignes directrices de la CCNUCC exigent des Parties cette quantification des incertitudes des émissions de GES pour aider à prioriser les efforts sur les catégories sources qui contribuent le plus à cette incertitude. Pour les émissions de polluants et l'inventaire au format CEE-NU, le guide méthodologique de l'EMEP/EEA présente également un chapitre dédié à l'analyse des incertitudes. Ceci est basé sur la même méthodologie du GIEC, toutefois l'analyse n'est pas obligatoire pour les polluants.

La première étape du calcul d'incertitudes est d'identifier les variables indépendantes les unes des autres, celles issues d'une agrégation sont écartées. Par exemple, plutôt que d'essayer d'estimer les incertitudes des données d'activité pour de nombreuses sous-catégories pour lesquelles les données sont dérivées d'une catégorie plus agrégée, il peut être préférable d'attribuer des incertitudes à des catégories sources agrégées où l'activité est mieux connue. Ceci a pour objectif de réduire les effets de dépendance et de corrélation entre les données et paramètres.

Le GIEC a développé dans son guide des bonnes pratiques deux niveaux de méthodes pour évaluer les incertitudes sur les émissions totales des inventaires d'émissions :

- La **méthode de rang 1**, qui consiste à déterminer des intervalles de confiance sur chacun des paramètres (activité et facteur d'émission) à partir des données disponibles. Dans l'état actuel des connaissances, ces intervalles de confiance sont le plus souvent des avis d'experts. Un des points importants de cette méthode est l'identification d'éventuels biais (conscients ou inconscients) dans les avis d'experts. A cette fin, le guide du GIEC explicite différents types de biais connus. Soit l'incertitude est estimée directement au niveau des émissions ; soit, pour la plupart des cas, les incertitudes des facteurs d'émission et des données d'activité (voir figure ci-après partie A) sont estimées séparément. Suivant les lignes directrices du GIEC, cette analyse est fondée sur les données de mesure disponibles, l'opinion d'experts et la littérature selon la méthode de Niveau 1. Ainsi, si des facteurs d'émission par défaut du GIEC et de l'EMEP/EEA sont utilisés dans l'inventaire, les incertitudes par défaut associées sont également utilisées.
- La **méthode de rang 2**, qui vise à utiliser systématiquement des fonctions de densité de probabilité par la méthode de simulation stochastique comme la méthode de Monte Carlo. La mise en œuvre d'une telle méthode demande un investissement important et s'appuie également en pratique, sur des avis d'experts, car les données d'entrée nécessaires à une analyse plus fine des incertitudes ne sont pas disponibles systématiquement. En vue de progresser dans l'estimation des incertitudes au moyen de méthodes de Niveau 2, des travaux de mise en œuvre spécifique sur certains secteurs ont été réalisés. Les secteurs suivants font ainsi l'objet d'une mise en œuvre de type Monte-Carlo pour l'inventaire de GES : le CH_4 émis par la culture du riz (secteur 3C), le N_2O des sols agricoles (secteurs 3D) et le CO_2 de l'UTCATF. Les résultats de ces évaluations sont ensuite injectés dans la détermination des incertitudes tous secteurs.

L'évaluation des incertitudes totales sur les inventaires d'émission nationaux est mise en œuvre en combinant les deux méthodes de rang 1 et 2 du GIEC de propagation des incertitudes.

En effet, certains secteurs font l'objet d'une mise en œuvre de l'approche statistique dite « Monte-Carlo » pour l'inventaire de gaz à effet de serre, en particulier l'agriculture pour le N_2O des sols agricoles et l'UTCATF pour le CO_2. Les résultats de ces évaluations Monte-Carlo sont ensuite injectés dans la détermination des incertitudes tous secteurs, réalisée selon la méthode de rang 1 du GIEC. Le rapport national d'inventaire fait état des résultats tant en ce qui concerne les incertitudes en niveau qu'en tendance (par rapport à l'année 1990).

Certaines activités sont concernées vis-à-vis de plusieurs gaz à effet de serre. Par ailleurs, compte tenu des consolidations effectuées par bouclage sur des bilans énergétiques par exemple, l'incertitude relative à une source ou une catégorie de source peut être intrinsèquement plus grande que l'incertitude globale. La méthode de calcul des incertitudes globales utilisée pour les émissions de gaz à effet de serre est celle préconisée par le GIEC.

Les incertitudes sur les émissions de chaque catégorie source sont ainsi calculées de deux manières. Soit par la combinaison des incertitudes des facteurs d'émission et des données d'activité ; soit en prenant les incertitudes sur les émissions estimées en amont en utilisant l'approche tier 2 Monte-Carlo (voir figure, partie B). Les contributions de chaque catégorie source aux émissions totales sont aussi prises en compte pour calculer les incertitudes au niveau des catégories sources et au niveau de l'inventaire national. Le rapport national fait état des résultats tant en ce qui concerne les incertitudes en niveau qu'en tendance (voir figure, partie C). La figure ci-dessous représente le schéma de l'analyse des incertitudes réalisé par type de polluant et GES dans les inventaires nationaux.

En pratique, l'incertitude sur l'évolution est calculée à partir d'une année N et d'une année de référence. L'année de référence dépend de la substance. Le calcul résulte d'une combinaison entre l'incertitude introduite par le facteur d'émission et celle par l'activité. On considère l'incertitude du facteur d'émission comme corrélée dans le temps du fait de sa constance dans le temps pour certains de ceux-ci ou de son évolution dans le temps lié à la mise en œuvre de technique de réduction.. En revanche, les incertitudes sur l'évolution de l'activité ne sont pas considérées comme corrélées dans le temps sauf cas particulier de prise en compte de cinétique temporelle (CH_4 des décharges, UTCATF). Enfin, les incertitudes sont combinées pour obtenir l'incertitude globale de l'inventaire de l'année N et l'incertitude sur l'évolution des émissions totales entre l'année N et l'année de référence.

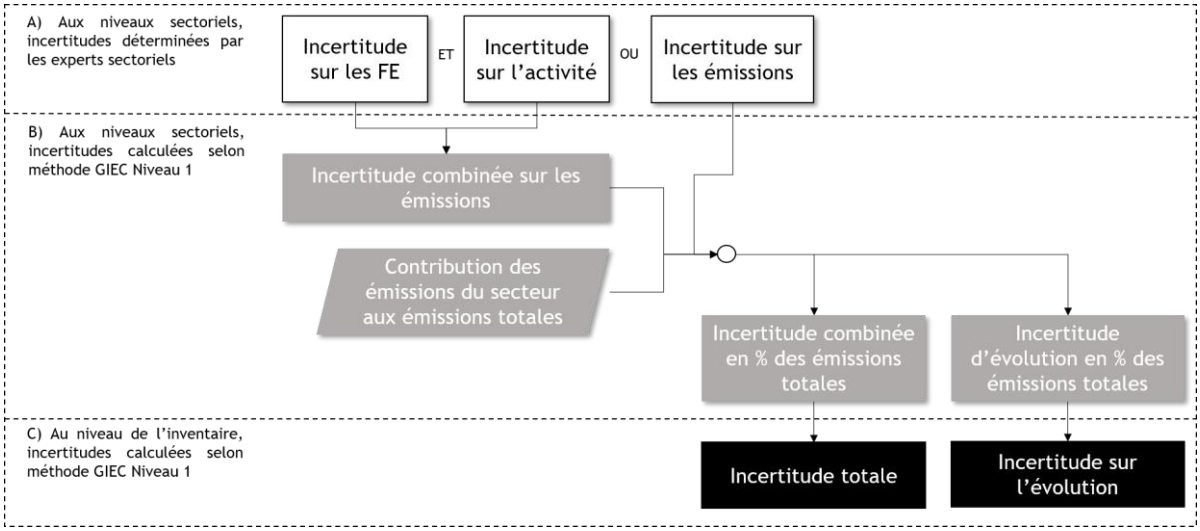


Schéma représentatif de la méthodologie appliquée pour l'analyse des incertitudes des inventaires nationaux, selon les bonnes pratiques du GIEC.

Quelles sont les incertitudes actuelles sur les émissions ?

Pour la plupart des secteurs, les incertitudes sur les émissions sont calculées en combinant les incertitudes des données d'activité et celles des facteurs d'émissions. Les premières sont généralement plus faibles (entre ± 1% et ± 35%) que les deuxièmes (entre ± 1% et ± 300%), ce qui reflète une meilleure connaissance des activités sectorielles, basées majoritairement sur des données statistiques ou une balance énergétique.

Les incertitudes sur les données d'activité sont considérées très dépendantes de la précision des données sources ou de la représentativité des données statistiques. Les incertitudes sur les données d'activité sont supposées constantes pour toutes les années d'inventaire tant que la collecte de données n'est pas modifiée.

L'incertitude est ainsi relativement faible, c'est à dire inférieure ou de l'ordre de 5%, pour les gaz/sources pour lesquels il est possible de recouper les calculs par des bilans matières ; c'est le cas du SO_2, du CO_2 et de certains métaux lourds notamment lors de l'utilisation de combustibles. Pour le CO_2, l'incertitude est notablement plus élevée en ce qui concerne par exemple les puits de carbone. A noter que les données résultant des dispositions relatives à la mise en place du système d'échanges des quotas de gaz à effet de serre contribuent à une réduction des incertitudes par suite des niveaux d'exigence élevés instaurés dans ce cadre.

Pour les polluants dont les émissions sont largement dépendantes des conditions opératoires (NOx, CO, COVNM, etc.), les incertitudes sont généralement élevées. Les niveaux d'incertitude sont très variables d'une source à l'autre pour une même substance. Une source dont les rejets sont mesurés de façon permanente ou à intervalles réguliers permettra une évaluation plus précise. Il en est de même lorsque des bilans matières peuvent être mis en œuvre.

Ainsi, pour la plupart des substances relatives à la pollution transfrontalière (NOx, COVNM, NH_3, etc.), la quantification de l'incertitude est plus difficile que dans le cas des émissions de CO_2.

CALCUL D'INCERTITUDE SUR LES EMISSIONS EN France
METHODE TIER1 DE EMEP / EEA 2019 (*)

source Citepa/ Format CEE-NU - Mars 2025 — CITEPA-incertitudes-polluant.xlsx

Polluant	Emission en 1990	Emission en 2023	Unité	Incertitudes année (%) 2023	Incertitudes sur l'évolution (%)	Format
SOx	3 223	78	Gg	13	0,2	(a) CEE-NU
NOx	2 201	654	Gg	78	15	
NH3	703	547	Gg	41	13	
COVNM	2 891	1 046	Gg	60	14	
Zn	2 100	387	Mg	94	15	
Cr	402	32	Mg	143	11	
CO	12 858	2 132	Gg	54	5,9	
Pb	4 301	87	Mg	141	2,8	
Hg	26	2	Mg	31	1,5	
PCDD-F	1 801	119	g I-Teq	35	2,6	
Cd	20	2	Mg	43	3,8	
HCB	1 639	7	Kg	49	0,3	
Ni	299	21	Mg	50	2,3	
PCB	178	30	Kg	46	10	
HAP	46	32	Mg	82	7,5	
Cu	296	314	Mg	233	35	
As	18	6	Mg	91	12	
Se	13	9	Mg	74	8,2	
TSP	1 254	760	Gg	160	37	
PM10	599	239	Mg	60	11	
PM2,5	475	160	Gg	62	3,9	

(a) : le périmètre géographique de la CEE-NU correspond au périmètre géographique Secten, i.e. la métropole

(*) Calcul d' incertitudes selon le guidebook EMEP / EEA 2013 (cf. "Part A : General guidance chapters" - chapter 5 "Uncertainties")

Incertitudes des émissions de polluants pour les années 1990 et 2022

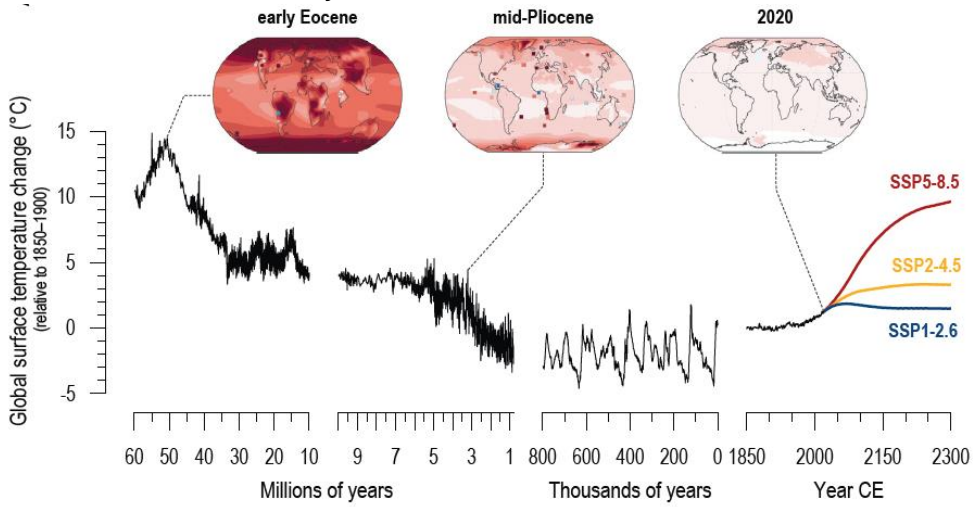
Concernant les émissions de GES, l'analyse des incertitudes est basée sur les émissions sectorielles exprimées en CO_2 équivalent pour les différents types de GES. L'incertitude totale calculée sur les émissions GES a une valeur de 8% (en incluant l'UTCATF) pour l'année 2023. L'incertitude de l'évolution des émissions GES est de 1,8% par rapport à l'année de référence de 1990.

Gaz à effet de serre

Contexte scientifique

Définition et principes

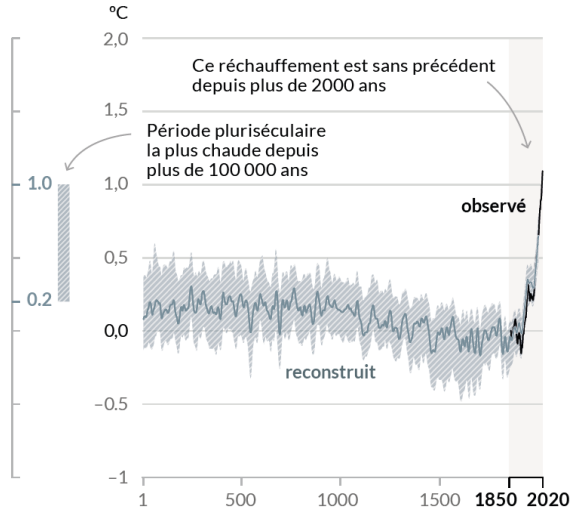
L'effet de serre est un phénomène naturel. Si l'effet de serre naturel n'existait pas, la température moyenne sur Terre serait nettement inférieure aux 15 °C constatés. L'accroissement du phénomène d'effet de serre est, quant à lui, d'origine anthropique. Le 5ème rapport du GIEC (GIEC, 2014) précise dans sa synthèse : « Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, qui ont augmenté depuis l'époque préindustrielle en raison essentiellement de la croissance économique et démographique, sont actuellement plus élevées que jamais, ce qui a entraîné des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux sans précédent depuis au moins 800 000 ans. Leurs effets, associés à ceux d'autres facteurs anthropiques, ont été détectés dans tout le système climatique et il est extrêmement probable qu'ils aient été la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XXe siècle ». Dans le premier volume de son 6e rapport (GIEC, 2021), le GIEC réaffirme dans son résumé à l'intention des décideurs : « Les augmentations des concentrations de gaz à effet de serre bien mélangés dans l'atmosphère, observées depuis environ 1750, résultent, sans équivoque, des activités humaines. ».



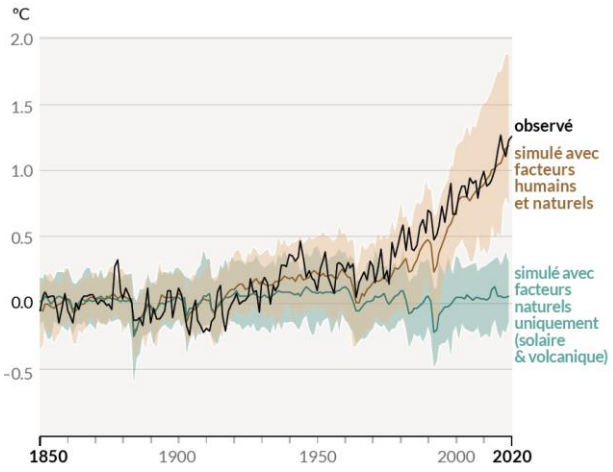
Evolution de la température à la surface du globe au cours des 60 derniers millions d'années et projections pour les 300 prochaines années (GIEC, 2021, Technical summary, AR6).

Selon le résumé à l'attention des décideurs du dernier rapport du GIEC (IPCC, 2021), la hausse de la température à la surface du globe au cours des deux premières décennies du XXIe siècle (2001–2020) est de 0,99 °C par rapport à 1850–1900. Elle est plus élevée de 1,09 °C sur la période 2011–2020 qu'en

1850–1900, avec un réchauffement plus prononcé au-dessus des terres émergées (1,59 °C) qu'à la surface de l'océan (0,88 °C). Aujourd'hui, les experts estiment que le réchauffement d'origine anthropique augmente de 0,2°C par décennie (fourchette comprise entre 0,1°C et 0,3°C) du fait des émissions passées et actuelles.



Changement de la température à la surface du globe (moyenne décennale) reconstruit (1-2000) et observé (1850-2020), (GIEC, 2021, Résumé pour les décideurs, AR6)



Changement de la température à la surface du globe (moyenne annuelle) observé et simulé en considérant les facteurs humains et naturels et les facteurs naturels uniquement (1850–2020 pour les deux), (GIEC, 2021, Résumé pour décideurs, AR6).

Les conséquences sont multiples : vagues de chaleur plus fréquentes et intenses, sécheresses accrues, évènements climatiques extrêmes plus fréquents (ouragans, vagues de froid intense, etc.), fonte des glaciers, montée des océans, etc. Le changement climatique présente un risque pour l'équilibre des systèmes naturels et humains.

Le 6e rapport du GIEC (IPCC, 2021) publié en 2021 indique que : « la température à la surface du globe continuera à augmenter au moins jusqu'au milieu de ce siècle, dans tous les scénarios d'émissions considérés. Un réchauffement planétaire de 1,5 °C et 2 °C sera dépassé au cours du XXIe siècle, sauf si des réductions importantes des émissions de CO_2 et d'autres gaz à effet de serre ont lieu au cours des prochaines décennies. [...] En moyenne sur la période 2081–2100, la température à la surface du globe sera très probablement supérieure de 1,0 °C à 1,8 °C à celle de 1850–1900 pour le scénario de très basses émissions de GES (SSP1-1.9), de 2,1 °C à 3,5 °C pour le scénario d'émissions de GES intermédiaires (SSP2-4.5) et de 3,3 °C à 5,7 °C pour le scénario d'émissions très élevées de GES (SSP5-8.5). La dernière fois que la température à la surface du globe s'est maintenue à 2,5 °C ou plus au-dessus du niveau de 1850–1900 s'est produite il y a plus de 3 millions d'années. ».

Le résumé à l'attention des décideurs (IPCC, 2021) est la source par excellence à laquelle se référer pour avoir les principaux résultats. La fiche de synthèse du Citepa (synthèse Citepa, 2021) explicite et présente les principales conclusions du rapport :

- Pour respecter l'objectif de +2°C, les émissions mondiales nettes de GES devraient baisser immédiatement et atteindre, par rapport à 2019, -27% en 2030 et - 63% en 2050 ;
- Pour respecter l'objectif de +1,5°C sans dépassement ou avec un dépassement limité, les émissions mondiales nettes de GES devraient baisser pour atteindre, par rapport à 2019, -43% en 2030 et -84% en 2050 ;
- Si l'on ne considère que les promesses de réduction des NDC annoncées avant la COP-26, sans nouvelle ambition supplémentaire, le réchauffement planétaire médian induit s'élèverait à +2,8°C d'ici 2100.

Pour respecter l'objectif de +2°C, en supposant une action immédiate :

- les émissions nettes mondiales du seul CO_2 doivent être réduites, par rapport à 2019, de 27% en 2030 et de 52% en 2040 ;
- les émissions mondiales du seul CH_4 doivent être réduites de 24% en 2030 et de 37% en 2040.

Pour respecter l'objectif de +1,5°C sans dépassement ou avec un dépassement limité :

- les émissions nettes de CO_2 doivent être réduites, par rapport à 2019, de 48% en 2030 et de 80% en 2040 ;
- les émissions mondiales de CH_4 doivent être réduites de 34% en 2030, de 44% en 2040 et de 45% en 2050.

Pour respecter à la fois l'objectif +2°C et +1,5°C :

- les émissions de N_2O doivent être réduites, par rapport à 2019, de 20% en 2050 ;
- les émissions de gaz fluorés doivent être réduites, par rapport à 2019, de 85% en 2050.

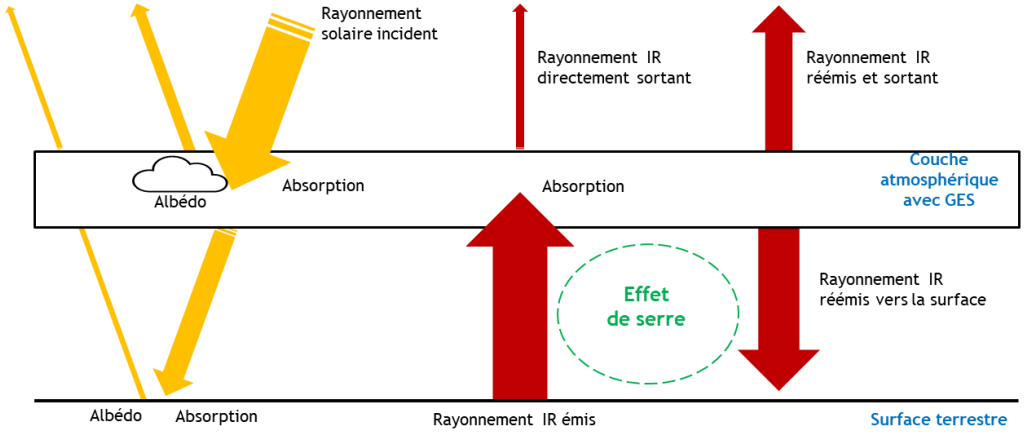
Les émissions nettes cumulées de CO_2 jusqu'au moment du zéro CO_2 net ne devraient pas dépasser :

- 510 Gt pour respecter l'objectif de +1,5°C sans dépassement ou avec un dépassement limité,
- 890 Gt pour respecter l'objectif de +2°C.

Si les politiques en place (mises en œuvre fin 2020) se poursuivaient sans ambition supplémentaire, les émissions de GES continueraient d'augmenter, entraînant un réchauffement de +3,2°C d'ici 2100.

Mécanismes en jeu et forçage radiatif des composés

Le bilan radiatif de la terre peut se résumer de la façon suivante : la Terre reçoit une certaine partie du rayonnement solaire sous forme de rayonnement visible. Le flux solaire incident est de l'ordre de 340 $W.m^{-2}$. Le sol absorbe environ 50% de cette énergie incidente, dont l'autre portion a été absorbée par l'atmosphère (20%) ou réfléchie par les nuages et par les surfaces claires du sol, telles que les déserts et les glaciers (30%). La surface terrestre réémet cette énergie reçue sous forme de rayonnements infrarouge (IR).



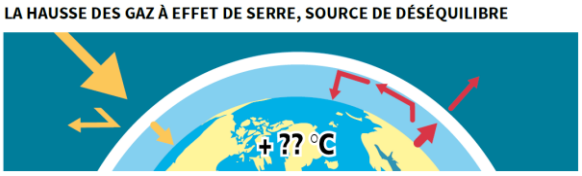
Bilan radiatif terrestre (Citepa)

L'effet de serre est principalement lié à l'absorption des rayonnements IR de grande longueur d'onde émis par la surface terrestre, par les nuages et des composés présents dans l'atmosphère de façon naturelle tels que : vapeur d'eau (H_2O), CO_2, CH_4, O_3, N_2O, gaz fluorés. Ces composés engendrent donc un effet de serre naturel. Sans ce dernier, la température moyenne sur Terre serait de -18°C. L'émission de GES complémentaires dans l'atmosphère engendre un déséquilibre dans le bilan radiatif (c'est ce que l'on appelle le forçage radiatif), induisant un effet de serre additionnel et une hausse de la température globale.

L'effet de serre est une analogie qui traduit en réalité une propriété physique : l'absorption du rayonnement infrarouge (IR) par un corps. Cette capacité d'absorption est directement liée aux propriétés spectroscopiques des molécules et donc à leur structure (leur capacité à « vibrer »). Les molécules bi-atomiques et symétriques (O_2, N_2, H_2, etc.) sont très peu absorbantes dans le domaine infrarouge lointain (4 à 40 µm, domaine du spectre IR terrestre). A l'inverse, les molécules triatomiques ou non symétriques (H_2O, CO_2, CH_4, etc.) sont beaucoup plus absorbantes.

S'il n'y avait pas d'effet de serre.

La vie grâce à l'effet de serre.

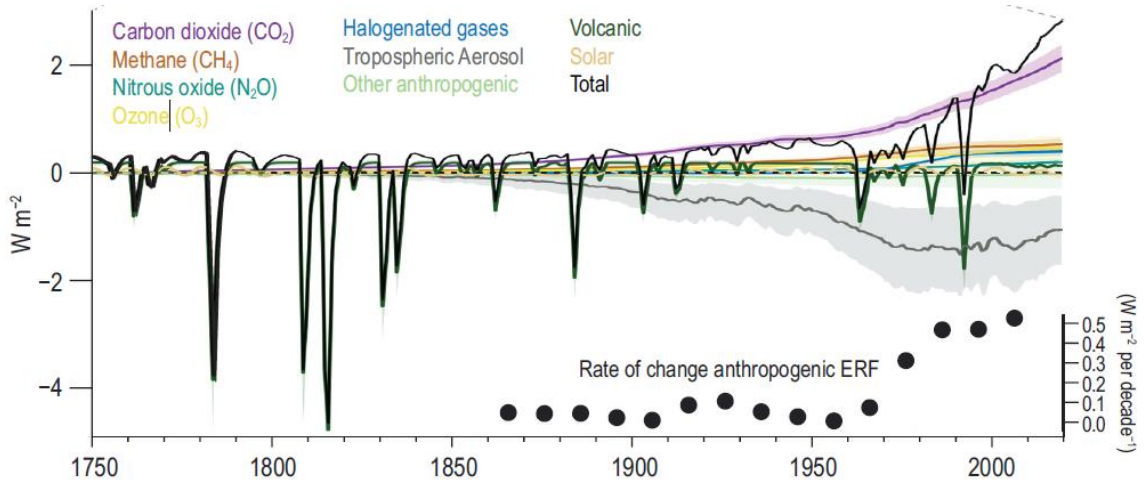


L'effet de serre, (ADEME, 2019)

Bien que présents à l'état de trace, l'accroissement des concentrations des composés à longue durée de vie (forceurs climatiques à longue durée de vie ou *Long-Lived Climate Forcers*) tels que le CO_2, le N_2O et certains gaz fluorés conduit donc à un renforcement de l'effet de serre. L'étude des situations passées, par l'analyse des bulles d'air piégées dans les glaces profondes, est riche d'enseignements. La communauté scientifique internationale a mis en évidence que dans le passé, les épisodes froids ont généralement coïncidé avec de faibles teneurs de l'air en CO_2 et CH_4. Pour le CO_2, les fluctuations des concentrations sont liées à des modifications de la circulation et de la productivité océanique, l'océan étant le grand régulateur à long terme du CO_2. Pour le CH_4, les modifications font intervenir les écosystèmes terrestres et les sols gelés des hautes latitudes.

La complexité des phénomènes mis en jeu est de mieux en mieux comprise par les scientifiques. L'accroissement de l'effet de serre ne se résume pas en fait aux seuls GES à longue durée de vie. Beaucoup d'autres composés à courte durée de vie (*Short-Lived Climate Forcers* ou SLCF) contribuent au réchauffement, de façon directe (ozone, composante carbone suie des particules, CH_4, certains HFC) ou indirecte (cas du CO et des COV qui se transforment en CO_2). Par ailleurs, certains polluants tels que le SO_2 peuvent aussi avoir des effets refroidissants.

L'ozone (O_3) présent dans l'atmosphère est un gaz à effet de serre. En fonction de l'altitude à laquelle il est présent, son forçage radiatif est différent. Selon le 6e rapport d'évaluation du GIEC (2021), l'ozone troposphérique est considéré comme le troisième GES par ordre d'importance du forçage radiatif induit, 0,47 $W.m^{-2}$. L'ozone de la stratosphère, en absorbant une partie du rayonnement solaire (UV entre 200 nm et 300 nm avec un maximum d'efficacité à 255 nm), contribue, au contraire, au refroidissement.



L'augmentation du forçage radiatif effectif depuis la fin du XIXe siècle est principalement due au réchauffement des GES et au refroidissement des aérosols. (GIEC, 2021, *Technical summary*, Vol. 1). Le CO_2 est lié principalement aux combustions industrielles et domestiques ainsi qu'aux transports. Le CH_4 est en majorité lié aux pratiques agricoles, par exemple l'élevage et la riziculture. Le N_2O a une origine principalement agricole avec l'usage des fertilisants minéraux et d'origine organique (engrais, fumier, lisier).

Des substances telles que les CFC, les HCFC, les HFC, principalement utilisés dans les secteurs de la réfrigération et de la climatisation, les PFC, le NF_3, et le SF_6 sont des GES puissants dont l'origine est totalement anthropique.

L'action de ces gaz se traduit par une perturbation du bilan énergétique global caractérisée par un piégeage additionnel. Sept de ces gaz (ou familles de gaz dans le cas des HFC et PFC) sont inscrits sur la liste du Protocole de Kyoto : CO_2, CH_4, HFC, PFC, SF_6 (depuis la première période d'engagement 2008-2012) et le NF_3 (pour la seconde période d'engagement 2013-2020). Les CFC et HCFC étant couverts, par ailleurs, par le Protocole de Montréal.

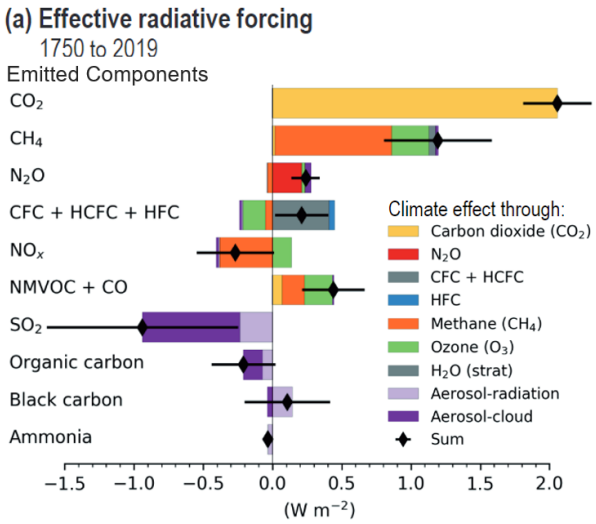
Le SO_2, les NO_X, le CO et les COVNM sont comptabilisés dans le rapportage des émissions de GES pour la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC 2019). Ces

quatre gaz ont une action sur l'effet de serre en tant que polluants primaires intervenant dans la formation de polluants secondaires comme l'ozone ou les aérosols. Ils n'entrent pas dans le "panier" de Kyoto.

- Le CO et les COV, s'oxydent en CO_2 et contribuent à la formation d'ozone. Ils ont tous deux un forçage radiatif positif contribuant donc au réchauffement.
- Les NO_X conduisent à la formation d'ozone (forçage positif), mais aussi à la formation de particules de nitrate et oxydent le CH_4 (forçage négatif). Au global ils ont un forçage négatif.
- Le SO_2 a un effet refroidissant, en produisant des sulfates (forçage négatif).
- Le NH_3 présente lui aussi un forçage négatif en produisant des nitrates et des ions ammonium.

Ce sont les émissions de ces sept gaz à effet de serre qui sont présentées ci-après. Pour le rapportage, le SO_2, les NO_X, le CO et les COVNM sont comptabilisés comme des gaz à effet de serre indirects (CCNUCC 2019). Leurs émissions sont présentées dans le chapitre « polluants atmosphériques » du rapport Secten. Ces gaz à effet de serre indirects ne sont pas pris en compte dans le total des émissions exprimées en équivalent CO_2 (CO_2e), conformément aux objectifs de réduction d'émissions définis aux niveaux national et européen.

La figure suivante présente les coefficients de forçage des diverses espèces chimiques (IPCC-AR6-2021). Il est à noter que l'on ne trouve pas directement l'ozone puisqu'il est émis indirectement, mais sa contribution apparait indirectement par l'intermédiaire de ses précurseurs.



Forçage radiatif des composés (IPCC- AR6-2021).

Pouvoir de réchauffement global (PRG)

Le PRG (ou GWP, *Global Warming Potential*, en anglais) a été défini par les experts du GIEC pour fournir une mesure simple des effets relatifs des émissions des gaz à effet de serre. L'indicateur est défini comme le forçage radiatif cumulé entre la situation actuelle et un horizon donné causé par une unité de masse de gaz émise aujourd'hui. Le CO_2 sert de référence (PRG = 1).

Le tableau suivant présente les PRG de certains composés, d'après la dernière mise à jour du GIEC dans son 6e rapport (GIEC 2021). Depuis 2023, ce sont les PRG du 5e rapport qui sont utilisés dans les inventaires. Pour le besoin du rapportage CCNUCC, ce sont toujours les PRG à 100 ans qui sont pris en compte.

Substance	PRG selon 6e rapport	PRG selon 5e rapport		PRG selon 4e rapport
horizon	*100 ans*	*20 ans*	***100 ans***	*100 ans*
CO_2	1	1	**1**	1
CH_4	27,9	84	**28**	25
N_2O	273	264	**265**	298
NF_3	25 200	12 800	**16 100**	17 200
SF_6	17 400	17 500	**23 500**	22 800

PRG de composés selon le 4e rapport (GIEC 2007), le 5e (GIEC 2014) et le 6e rapport d'évaluation du GIEC (GIEC 2021)

Rétroactions climatiques

Les paragraphes ci-dessous présentent les principales rétroactions observables dans le système climatique, et plus particulièrement celles ayant des effets importants dans un contexte de changement climatique. Avant de rentrer dans le détail de celles-ci, il est important de définir ce qu'est une rétroaction (feedback en anglais).

Une rétroaction est un processus à travers lequel la variation d'une variable A d'un système provoque une modification d'une variable B qui influe à son tour sur la variable A initialement perturbée. Dit autrement, il s'agit d'une chaine de relation de cause à effet qui boucle sur elle-même.

Représentation d'une boucle de rétroaction.

Les rétroactions sont dites positives ou négatives. Ces termes n'ont pas vocation à définir si les rétroactions ont des effets souhaitables (dans le cas des

rétroactions positives) ou non souhaitables (dans le cas des rétroactions négatives). Une boucle de rétroaction positive entraîne un changement qui « s'autorenforce », c'est-à-dire que l'influence causale se renforce au sein de la boucle entre les deux variables en jeu (les variables A et B dans le schéma de la figure ci-dessus). Une augmentation de la variable A entrainera une variation de la variable B qui aura pour effet d'augmenter encore davantage la variable A par rapport à la perturbation initiale. Au contraire, si la perturbation initiale fait diminuer la variable A, cette diminution entrainera une variation de la variable B qui aura pour conséquence de faire diminuer encore plus la variable A par rapport à la perturbation initiale. Une rétroaction positive entre deux variables a donc bien tendance à amplifier l'effet d'une perturbation initiale (à la hausse ou à la baisse) sur l'une de ces deux variables. A l'inverse, les boucles de rétroactions négatives contrebalancent l'influence causale le long de la boucle, c'est-à-dire qu'elles ont tendance à diminuer l'amplitude de la perturbation initiale. Elles ont donc un effet stabilisateur en ayant tendance à ramener le système à son état initial avant perturbation de l'une des deux variables en jeu (Meadows, 2022). Une rétroaction positive accentue la perturbation initiale, une rétroaction négative l'atténue.

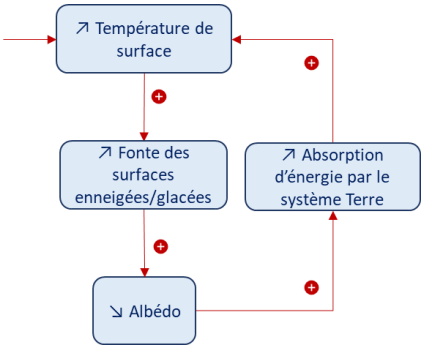
On peut définir une rétroaction climatique comme : « une interaction dans laquelle la perturbation d'une variable climatique provoque, dans une seconde variable, des changements qui influent à leur tour sur la variable initiale » (GIEC, 2019).

Le schéma présenté ci-après dans ce document (à la fin de cette section) n'a pas vocation à être exhaustif mais s'attache à présenter les principales rétroactions observables dans le système climatique dans un contexte de réchauffement global. En effet, le système climatique terrestre est extrêmement complexe, avec une multitude de rétroactions positives et négatives en son sein qui sont imbriquées les unes avec les autres par le biais d'un grand nombre de variables.

Les activités humaines sont génératrices d'émissions de gaz à effet de serre (notamment de CO_2 et de CH_4), en particulier du fait de la combustion de combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz), des activités agricoles et d'élevages et de procédés industriels. Ces émissions anthropiques, inégalement réparties entre régions du Monde et entre niveaux de revenus, engendrent une augmentation du stock de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, ce qui se traduit par une augmentation de leur concentration à l'échelle globale. Comme indiqué plus tôt dans ce document, la hausse de cette concentration de GES induit une augmentation de l'effet de serre qui donne lieu à une augmentation de la température de la surface terrestre. Cette dernière conduit à un ensemble de rétroactions.

Boucle de rétroaction de l'albédo

La hausse de la température de surface entraîne dans un premier temps la fonte des glaces, provoquant ainsi un assombrissement de la surface de la Terre (diminution de l'albedo moyen), ceci ayant comme conséquence une augmentation de la quantité d'énergie solaire absorbée par la planète. Cette dernière augmentation va enfin induire une augmentation de la température atmosphérique globale. Ainsi, on constate que l'augmentation de la température moyenne de surface de la Terre (perturbation) va induire à travers la fonte des glaces et la diminution de l'albédo terrestre, une hausse supplémentaire de cette même température de surface (amplification de la perturbation). Il s'agit bien d'une boucle de rétroaction positive. La hausse de la température de surface à travers la fonte des glaces d'eaux et de la baisse de l'albédo s'autorenforce.

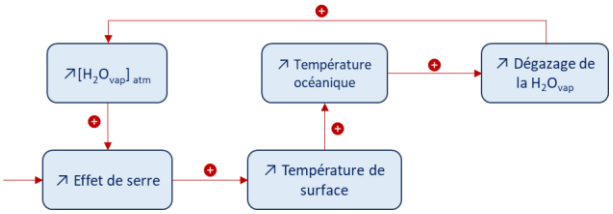


Boucle de rétroaction de l'albédo

Boucle de rétroaction de la vapeur d'eau

En parallèle, la hausse de la température de surface induit une hausse de la température des océans qui va contribuer à la vaporisation de l'eau de surface des océans. En temps normal, on observe un équilibre entre la vaporisation de l'eau liquide (passage de l'eau liquide à de la vapeur d'eau) et la condensation de la vapeur d'eau (passage de la vapeur d'eau à l'état liquide). Cependant une augmentation de la température des océans déplace cet équilibre vers la vaporisation de l'eau, c'est-à-dire qu'une part plus importante d'eau va être transférée du réservoir océanique vers le réservoir atmosphérique (une atmosphère plus chaude peut contenir plus de vapeur d'eau). Ce processus va induire une hausse de la concentration de H_2O dans l'atmosphère. Or, l'H_2O atmosphérique est un gaz à effet de serre. On va donc observer une concentration croissante de GES, une

hausse de l'effet de serre et une hausse de la température de surface. Cette dernière va encore augmenter le phénomène d'évaporation de l'eau liquide et entraîner une boucle de rétroaction positive.



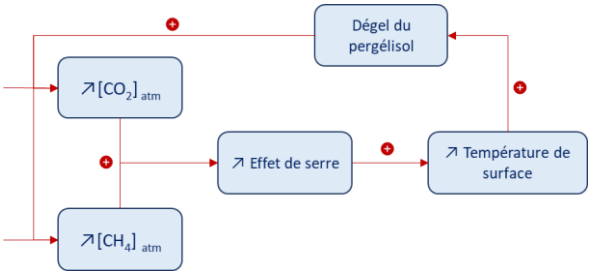
Boucle de rétroaction de la vapeur d'eau

Boucle de rétroaction du dégel du pergélisol

L'augmentation de la température atmosphérique conduit également à un phénomène appelé dégel du pergélisol (ou permafrost en anglais). Le pergélisol correspond à la partie d'un cryosol gelé en permanence, la température de l'atmosphère à ces latitudes ne permettant pas de réchauffer suffisamment le sol pour qu'il dégèle. Dans les régions où il est présent depuis plusieurs cycles glaciaires, le pergélisol peut être épais de plusieurs centaines de mètres. Il est, de ce fait, imperméable.

Cet état des sols entraine plusieurs choses. D'une part, la vie microbienne et bactériologique du sol (qui participe à la décomposition de la matière organique) est très réduite. Les processus de fermentation ou de respiration cellulaire, qui sont des processus à l'origine d'émissions de GES, sont très réduits et les émissions de GES dans ces zones sont très faibles. D'autre part, on trouve dans ces sols, de la glace d'eau. Cette dernière peut avoir emprisonnée lors des cycles glaciaires, du CO_2 et du CH_4. C'est ce qu'on appelle des clathrates.

La hausse de la température atmosphérique permet à une partie du permafrost de dégeler. Ce dégel permet à l'activité microbienne/bactériologique du sol de s'intensifier (respiration cellulaire et dégradation de la matière organique) et va engendrer une hausse des émissions de GES. De plus, le dégel des glaces d'eaux va entraîner une libération du CO_2 et du CH_4 qu'elles contiennent. Ces deux phénomènes vont induire une hausse de la concentration des GES, une amplification du phénomène d'effet de serre et une augmentation de la température atmosphérique qui va accélérer le dégel du pergélisol. On est encore une fois face à une boucle de rétroaction positive.

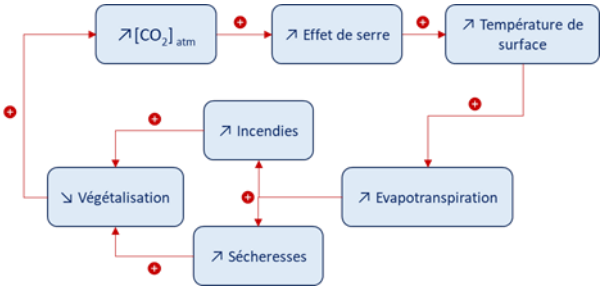


Boucle de rétroaction du dégel du pergélisol

Boucle de rétroaction de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est le processus biophysique de transfert d'une quantité d'eau vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration de la végétation. Avec l'augmentation de la température atmosphérique, l'évapotranspiration des plantes augmente et le bilan hydrique des sols se dégrade. Ce changement dans le cycle de l'eau renforce les conditions d'apparitions de sécheresses et d'incendies.

La végétation, à travers le phénomène de photosynthèse contribue à diminuer la concentration de CO_2 dans le réservoir atmosphérique et a, en temps normal, un effet stabilisateur dans le système climatique (rétroaction négative). Cependant, les sécheresses et les incendies réduisent la quantité de végétaux sur Terre et par la même occasion la capacité de stockage du CO_2 atmosphérique. Par conséquent, une part moins importante de CO_2 est transférée de l'atmosphère vers la biomasse, ceci ayant pour effet d'accroitre la quantité nette de GES, leur concentration, l'effet de serre, la température globale, l'évapotranspiration, etc. Ici aussi, il s'agit d'une boucle de rétroaction positive.



Boucle de rétroaction de l'évapotranspiration

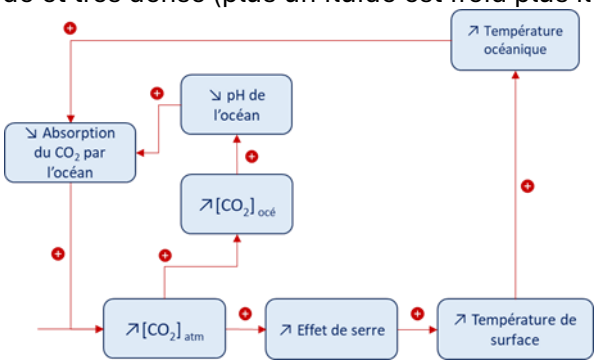
Rétroaction des pompes océaniques

Enfin, on peut s'intéresser au rôle des océans dans la captation du CO_2 atmosphérique. Le réservoir océanique absorbe une partie du CO_2 atmosphérique au travers de deux principaux phénomènes que sont la pompe physique océanique et la pompe biologique océanique. Avant de nous intéresser à ces mécanismes, il semble pertinent de détailler comment (et sous quelle forme) le carbone pénètre

dans le réservoir océanique. Dans ce dernier, on trouve le carbone inorganique principalement sous la forme d'ions bicarbonates HCO_3-. A l'interface atmosphère/océan, une partie du CO_2 atmosphérique se dissout pour donner de l'acide carbonique H_2CO_3 qui, en se dissolvant, va donner du HCO_3- et des protons H^+ (à l'origine en partie de l'acidification des océans).

La pompe biologique est le système de séquestration du CO_2 ayant le temps de séquestration le plus court. A l'instar de la biomasse terrestre, le phénomène de photosynthèse est à l'œuvre dans la couche euphotique (couche de surface des océans dans laquelle pénètrent la lumière du soleil). Cependant, ici, c'est le phytoplancton qui en est le moteur et qui sert de porte d'entrée au carbone dans la pompe biologique. Par la suite, au travers des interactions au sein du réseau trophique (broutage, prédation, etc.) et des transformations qu'il subit, le carbone organique est stocké au sein des êtres vivants. Une part infime de ce dernier « plonge » enfin vers les fonds océaniques et marins, où il sédimente et reste piégé pour de longues périodes temporelles (plusieurs milliers d'années).

La pompe physico-chimique est liée à la température de l'eau et à la circulation océanique. Plus l'eau est froide, plus la solubilité du CO_2 sera élevée, et plus le transfert de CO_2 de l'atmosphère vers l'océan sera conséquent. Aux hautes latitudes où l'eau est très froide et très dense (plus un fluide est froid plus il est dense), les eaux de surface plongent vers les fonds océaniques et entraînent une forte séquestration du carbone à travers la migration verticale des masses d'eaux.



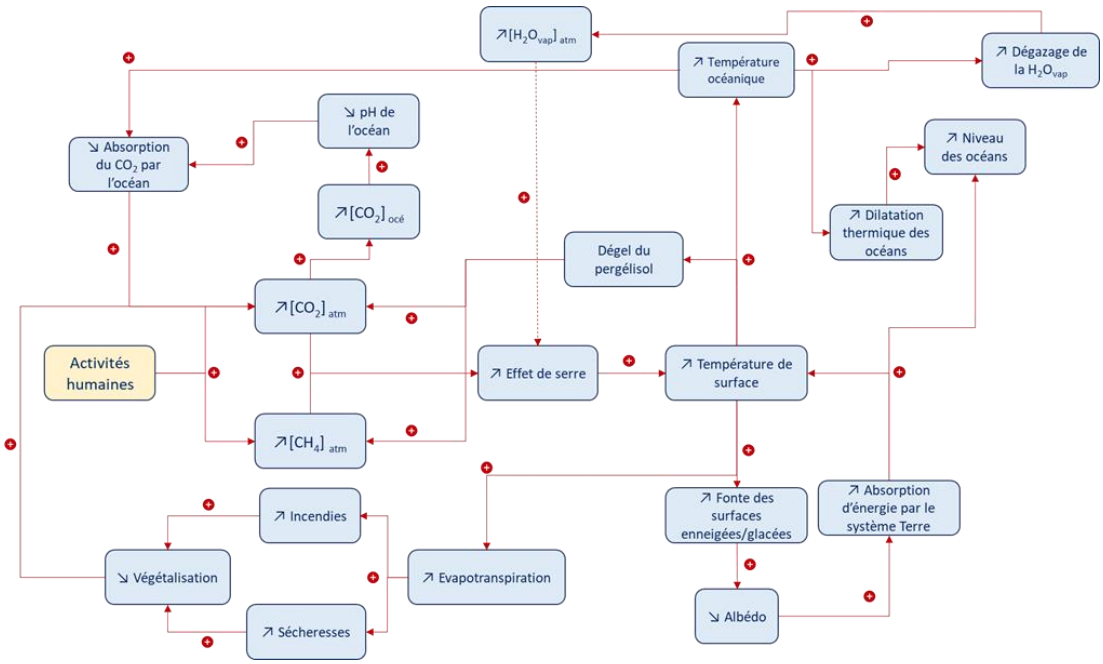
Rétroaction des pompes océaniques

Enfin, d'autres rétroactions climatiques existent mais pour lesquelles les évolutions sont moins certaines. C'est le cas par exemple des rétroactions associées à la couverture nuageuse.

Il est probable que le réchauffement climatique induise une modification de la couverture nuageuse (répartition et type de nuages). Vu depuis la Terre, les nuages émettent un rayonnement infrarouge vers la surface et ont ainsi un effet de réchauffement. Depuis l'espace, les nuages réfléchissent la lumière du soleil et émettent un rayonnement infrarouge hors du système Terre, et ont ainsi un effet refroidissant. Le bilan net entre réchauffement ou refroidissement dépend du type et de l'altitude du nuage. Les nuages élevés et semi-transparents ont tendance à avoir un effet réchauffant pour le système terrestre et ont donc une rétroaction positive. Les nuages de basse altitude reflètent normalement plus de lumière solaire et ont donc un effet net refroidissant.

Ces phénomènes permettent donc de limiter la concentration du CO_2 dans l'atmosphère, de limiter la hausse de l'effet de serre additionnel et par voie de conséquence, la température atmosphérique.

Cependant, plus la température de l'océan augmente, moins le transfert du CO_2 du réservoir atmosphérique au réservoir océanique est efficient (car la solubilité du CO_2 est plus importante à basse température). Or le réchauffement de l'atmosphère conduit au réchauffement de l'océan et à une diminution de l'efficacité des pompes océaniques. En parallèle, l'absorption massive de CO_2 par les océans depuis le début de la révolution industrielle a engendré une acidification des masses d'eaux (le pH a diminué). Cette acidification entraîne une baisse de l'efficacité de la pompe biologique (réduction de la biomasse phytoplanctonique). En réponse aux phénomènes que nous venons de présenter, une quantité moindre de CO_2 est transférée de l'atmosphère vers l'océan, ce qui a pour effet d'accroitre la quantité nette de GES, leurs concentrations, l'effet de serre, la température atmosphérique, la température des océans qui va de nouveau diminuer l'efficacité des pompes océanique physique et biologique, etc. Une fois de plus, on est face à une boucle de rétroaction positive.



Boucles de rétroactions climatiques

Contexte politique climat

Rédaction : **Sophie SANCHEZ, Mark TUDDENHAM**

Pour atténuer les effets des changements climatiques, des objectifs politiques ont été mis en place à différents niveaux. Au niveau international, la CCNUCC (voir encadré ci-dessous) est le cadre politique principal dans lequel s'inscrit l'Accord de Paris. Les objectifs définis dans l'UE et en France d'atteinte de la neutralité carbone (l'équilibre entre les sources d'émissions et les absorptions des puits de carbone) à partir de 2050 s'inscrivent en cohérence avec l'Accord de Paris. Des objectifs de réduction d'émissions intermédiaires de court ou moyen terme ont aussi été définis, telles que les budgets carbone de la Stratégie Nationale Bas Carbone en France.

La CCNUCC et Accord de Paris

La Convention Cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC ou UNFCCC en anglais) a été adoptée à Rio de Janeiro en 1992. Instance centrale majeure de l'action climat internationale, c'est la Convention « mère » du Protocole de Kyoto et de l'Accord de Paris. Les 196 pays membres de la CCNUCC se réunissent à la fin de chaque année pour la « Conférence des Parties » (COP). Son objectif ultime (article 2) est de "stabiliser [...] les concentrations de [GES] dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique". Au titre de la CCNUCC (article 4.2b), les pays industrialisés (énumérés à l'annexe I) se sont engagés à ramener en 2000, leurs émissions de GES aux niveaux de 1990.

L'Accord de Paris de 2015 fixe l'objectif de limiter la hausse des températures moyennes mondiales "nettement en dessous de" 2°C (d'ici 2100) par rapport aux niveaux pré-industriels et de viser si possible 1,5°C. Il est est entré en vigueur le 4 novembre 2016.

Vue d'ensemble des actualités récentes

Au niveau international, en 2024, des premières estimations du *Global Carbon Project* (GCP) montrent que les émissions mondiales de CO_2e auraient augmenté de 0,8% par rapport à 2023. La Conférence de Bakou sur le Climat (COP-29) a surtout abouti, après cinq ans de négociation, à un accord sur un nouvel objectif collectif chiffré en matière de financement climat. Ainsi, la CMA a fixé un objectif central de 300 milliards (Md)$/an d'ici 2035 qui s'inscrit dans le cadre d'un deuxième objectif, plus large : au moins 1 300 Md$/an d'ici 2035 provenant de toutes les sources publiques et privées à fournir par tous les acteurs. La Conférence de Bakou a permis deux autres avancées majeures : la finalisation des règles de mise en œuvre de l'article 6 de l'Accord de Paris (mécanismes de marché), après six ans de négociation, et l'adoption formelle des modalités de fonctionnement du fonds pertes et préjudices, ce qui ouvre la voie désormais à son opérationnalisation concrète. En revanche, le bilan est mitigé sur trois volets clés : les suites concrètes à donner aux résultats du Bilan global (*Global Stocktake*) obtenus au terme de sa phase politique lors de la COP-28 à Dubaï, l'atténuation et la mise en place du programme de travail sur la transition juste.

Au niveau européen, en 2022 et 2023, la procédure législative et de négociations entre le Parlement européen et le Conseil de l'UE sur le paquet politique et législatif « Fit for 55 [%] » de 2021 est arrivée à un aboutissement. Les éléments clés de la politique climat de l'UE ont été mis à jour (SEQE, hors-SEQE, transports, puits de carbone...) en cohérence avec le nouvel objectif de réduction des émissions nettes de GES de l'UE de -55% en 2030 par rapport à 1990. En particulier, l'évolution et l'élargissement du périmètre couvert par le SEQE (incluant désormais le secteur maritime) a constitué une nouveauté majeure. Notons aussi les nouveaux règlements renforçant l'ambition sur le hors-SEQE, les énergies renouvelables (ENR) et la directive RED III. Le 6 février 2024, la Commission européenne a recommandé un nouvel objectif de réduction des émissions de GES pour l'UE, à mi-chemin entre l'objectif de -55% d'ici 2030 (base 1990) et celui de la neutralité climatique d'ici 2050 : réduction des émissions nettes de GES (avec puits de carbone) de -90% d'ici 2040 par rapport aux niveaux de 1990. Toutefois, en 2025, suite à la réélection de Donald Trump aux États-Unis, le Parlement européen a voté le 3 avril 2025 le report des dates d'application des nouvelles législations de l'UE sur le devoir de vigilance et la publication d'informations en matière de durabilité. Et, fin mai 2025, la Commission n'avait toujours pas confirmé son objectif intermédiaire de réduction des émissions pour 2040.

En France, après une année 2022 marquée par le contexte géopolitique la crise énergétique, et les plans de sobriété, l'année 2023 s'est traduite par une nette baisse des émissions mais celle-ci a marqué le pas en 2024. La mise à jour de la Stratégie française sur l'énergie et le climat regroupant les textes clés de la politique climat nationale, comme la stratégie nationale bas-carbone (SNBC-3) ou de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE-3), est toujours attendue.

Politique climat internationale

Convention Cadre des Nations unies sur les changements climatiques

Convention Cadre (1992 – en cours)

La Convention Cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC ou UNFCCC en anglais) a été adoptée à Rio de Janeiro en 1992 par 154 États plus l'Union européenne. Elle est entrée en vigueur le 21 mars 1994. Elle a été ratifiée par 197 Parties (196 pays et l'Union européenne en tant qu'organisation internationale d'intégration économique). Cette Convention est le premier traité international visant à éviter les impacts anthropiques dangereux pour le climat.

Elle reconnaît plusieurs principes (cf. article 3), notamment :

- **Principe de précaution** : l'incertitude scientifique quant aux impacts du changement climatique ne justifie pas de différer l'action.
- **Responsabilités communes mais différenciées et capacités respectives** : toutes les émissions ont un impact sur le changement climatique mais les pays les plus industrialisés portent une responsabilité accrue de la concentration actuelle des gaz à effet de serre dans l'atmosphère en raison de leur responsabilité historique dans la production des émissions de ces gaz. Par conséquent, il appartient aux pays industrialisés d'être à l'avant-garde de l'action climat. Les pays en développement doivent y contribuer en fonction de leurs capacités nationales respectives, de leurs besoins et de leurs situations spécifiques.
- **Principe d'équité** : tous les pays doivent contribuer à la préservation du système climatique et à la construction d'un développement durable.
- Principe de croissance économique et de développement durables de toutes les Parties, en particulier des pays en développement.

Les 196 pays membres de la CCNUCC se réunissent à la fin de chaque année pour la « Conférence des Parties » (COP) où les décisions majeures de la CCNUCC sont prises. La dernière COP, la COP-29, a eu lieu en novembre 2024 sous présidence azerbaïdjanaise, à Bakou (Azerbaïdjan), où les Parties se sont notamment mises d'accord sur un nouvel objectif collectif chiffré en matière de financement climat (300 milliards de $ par an à atteindre d'ici 2035). Les Parties ont également finalisé les règles de mise en œuvre de l'article 6 de l'Accord de Paris (mécanismes de marché) et acté l'opérationnalisation du fonds consacré aux pertes et préjudice.

Protocole de Kyoto (2005-2020)

Des négociations débouchèrent sur le Protocole de Kyoto qui fut adopté le 11 décembre 1997. Le Protocole de Kyoto est entré en vigueur le 16 février 2005 (192 Parties ont ratifié ce Protocole (191 Etats et 1 organisation régionale d'intégration économique, l'Union européenne) après la ratification par la Russie qui a permis d'atteindre le quorum de 55 Etats représentant au minimum 55% des émissions de l'annexe B (40 pays les plus industrialisés) en 1990.

Seuls les Etats-Unis ne l'ont pas ratifié parmi les pays à l'annexe B. Ils n'avaient donc pas d'engagements d'émissions pour la période 2008-2012. De plus, en décembre 2011, le Canada s'est retiré du Protocole de Kyoto. Ce retrait a été effectif en décembre 2012. Le Canada n'était donc plus tenu de respecter ses engagements pour la première période du Protocole.

Le Protocole de Kyoto fixait un objectif de réduction pour les émissions agrégées d'un "panier" de six gaz à effet de serre (GES), exprimé en Potentiel de

Réchauffement Global (PRG) et comprenant : dioxyde de carbone (CO_2), protoxyde d'azote (N_2O), méthane (CH_4), hydrofluorocarbures (HFC), perfluorocarbures (PFC) et hexafluorure de soufre (SF_6). Pour la seconde période d'engagement (2013-2020), le NF_3 était également visé.

Pour la première période, l'objectif de réduction était fixé pour les 38 pays les plus industrialisés ainsi que pour l'Union européenne en tant qu'organisation régionale d'intégration économique. L'ensemble des pays se sont engagés à réduire globalement leurs émissions de GES d'au moins 5% sur la période 2008-2012, par rapport aux niveaux de 1990. Pour sa part, l'Union européenne (UE) s'est engagée à réduire ses émissions de 8%.

Au niveau de l'UE, les 15 Etats membres de l'époque sont parvenus, le 16 juin 1998, à un accord définissant la répartition des efforts de réduction des émissions entre eux (*burden-sharing agreement*) afin de respecter cet objectif global de 8%. Depuis, l'UE s'est élargie à 13 pays supplémentaires, qui avaient tous pris des engagements dans le cadre du Protocole de Kyoto sauf Chypre et Malte.

La France et l'Union européenne ont ratifié le Protocole le 31 mai 2002.

Pour la France, cet accord fixait un objectif de stabilisation des émissions sur la période 2008-2012 au niveau de 1990 (année de référence). La décision n°2006/944/CE de la Commission du 14 décembre 2006 a établi pour la France une quantité attribuée à ne pas dépasser. En prenant en compte les dernières estimations de l'année 1990, cela correspond à un budget cumulé sur la période de 2696 Mt CO2e. Les émissions réelles cumulées sur la période s'élevant à 2 499 Mt CO_2e, cet objectif a été atteint. **Les objectifs fixés pour la France sur la période 2008-2012 ont donc bien été atteints.**

Dans le cas de la France, les émissions à prendre en compte sous ce Protocole couvrent :

- la métropole et les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE (Guadeloupe, Guyane, La Réunion, Martinique, Mayotte, Saint-Martin) ;
- toutes les sources anthropiques émettrices. Cependant, l'utilisation des terres, leur changement et la forêt (UTCATF) ainsi que les transports internationaux aérien et maritime font l'objet de considérations particulières (*cf.* page suivante).

► Les émissions de GES de la France rapportées au titre de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto (format CRF) sont présentées **en Annexe.**

Modalités d'application du Protocole de Kyoto

Parmi les modalités d'application du Protocole, la France, pour respecter son engagement sur la première période 2008-2012, a pu bénéficier, au titre des articles 3.3 et 3.4 relatifs à l'UTCATF (Utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et foresterie) et uniquement pour la partie "gestion des forêts", d'un crédit d'émission.

A la 8e réunion des Parties (CMP-8) au Protocole de Kyoto (Doha, fin 2012), un amendement à ce texte dit amendement de Doha a été formellement adopté (décision 1/CMP.8) pour acter la 2e période d'engagement (2013-2020) pour 38 Parties qui y participent : UE-28, Australie, Belarus, Islande, Kazakhstan, Liechtenstein, Monaco, Norvège, Suisse et Ukraine, soit seulement deux grands émetteurs (UE et Australie).

Un nouvel objectif global de réduction des émissions de gaz à effet de serre a été fixé pour l'ensemble des 38 Parties, à atteindre sur la période 2013-2020 : au moins -18% par rapport au niveau de 1990. Les 38 Parties se sont engagées sur des objectifs individuels de réduction pour la période 2013-2020, allant de -0,5% (Australie, base 2000) à -30% (Monaco, base 1990), en passant par -20% (pour l'UE-28, base 1990). Ces Parties ont souscrit, à titre individuel et selon une démarche ascendante, à ces engagements, qui sont en général les mêmes que les engagements pour 2020 souscrits par ces Parties sur une base volontaire dans le cadre de l'accord de Copenhague de 2009.

L'annexe A du Protocole de Kyoto a été amendée pour ajouter un 7ème gaz à effet de serre au panier des six visés jusque-là, le gaz fluoré NF_3 (celui-ci a été identifié comme faisant partie des nouveaux GES et des nouvelles familles de GES énumérés dans le 4e rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2007). Pour faciliter la réalisation des engagements souscrits par les pays développés, le Protocole de Kyoto prévoit, pour ces pays, le recours à des mécanismes dits "de flexibilité" en complément des politiques et mesures qu'ils devront mettre en œuvre au plan national.

L'entrée en vigueur de l'amendement de Doha était conditionnée à l'atteinte d'un seuil de 144 ratifications (soit les trois quarts de l'ensemble des 192 Parties au Protocole de Kyoto). Or, faute d'un nombre suffisant de ratifications, il n'est entré en vigueur qu'*in extremis*, à savoir presque huit ans après le début de la 2e période d'engagement. Ainsi, avec la ratification par la 144e Partie, la Jamaïque, le 1er octobre 2020 (suivie par le Nigéria le 2 octobre), l'amendement de Doha est entré en vigueur 90 jours après, soit le 30 décembre 2020, c'est-à-dire un jour avant que la 2e période ne se termine. Trois des 38 Parties ayant souscrit des engagements de réduction n'ont toujours pas ratifié : Belarus, Kazakhstan et Ukraine. Au 5 juillet 2021, 147 Parties l'avaient ratifié.

Néanmoins, même si la 2e période d'engagement est terminée, et que le processus de rapportage des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre relatif à cette période est achevé (les émissions relatives à 2020 ayant été rapportées en mars 2022), il faut encore tenir compte des dernières étapes de finalisation (revues, vérification de la conformité aux engagements de la deuxième période, et la période de grâce en cas de besoin pour les derniers ajustements, puis les rapports finaux...). Il a été décidé lors de la CMP-17 (Réunion des Parties au Protocole de Kyoto), en parallèle de la COP-27, que le processus de revue d'experts (art. 8 du P.K.) devrait être complété d'ici le 1er juin 2023.

Mécanismes de flexibilité

Les trois **mécanismes de flexibilité** prévus par le Protocole de Kyoto étaient :

- les échanges internationaux de permis d'émission,
- le mécanisme de développement propre ou MDP,
- la mise en œuvre conjointe ou MOC.

Ces différents mécanismes ont permis aux pays développés de bénéficier de crédits-carbone résultant d'investissements et/ou d'une gestion appropriée de leurs installations. Ils sont décrits synthétiquement ci-après.

La **mise en œuvre conjointe** (MOC) était un mécanisme qui permettait aux pays développés ou aux pays à économie en transition figurant à l'annexe I de la Convention Climat[14] d'entreprendre un projet (financement d'un projet ou transfert de technologies) dont le but est de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans un autre pays de cette même annexe. Les crédits d'émission résultant de projets MOC ont été dénommés **unités de réduction des émissions (URE)** et ont été délivrés par le pays dans lequel le projet a été mis en œuvre (pays hôte). La mise en œuvre d'un projet MOC s'est traduite par le transfert d'URE d'un pays à un autre, mais la quantité totale d'émissions autorisée

[14] 28 pays industrialisés, les 14 pays de l'Europe centrale et orientale en transition vers une économie de marché ainsi que l'UE en tant qu'organisation régionale d'intégration économique.

restait inchangée (opération à somme nulle). A noter qu'au titre de l'article 6 du Protocole de Kyoto, "***l'acquisition d'URE*** **[venait]** ***en complément des mesures prises au niveau national"***.

Le **mécanisme de développement propre** (MDP) était un mécanisme destiné à aider les Parties ne figurant pas à l'annexe I de la Convention Climat, c'est-à-dire les pays en développement (qui ne se sont donc pas vus assigner d'objectifs quantitatifs de réduction des émissions) à parvenir à un développement durable ainsi qu'à aider les Parties visées à l'annexe I (pays développés) à respecter leurs engagements chiffrés de réduction des émissions. Concrètement, le MDP permettait aux Parties de l'annexe I de mettre en œuvre des projets de réduction des émissions dans les pays en développement et d'obtenir des crédits d'émission sous forme d'**unités de réduction certifiée des émissions (URCE).** Ces projets devaient se traduire par des avantages réels, mesurables et durables liés à l'atténuation des changements climatiques, tout en contribuant à la réalisation des objectifs de développement durable du pays hôte, notamment par le transfert de technologies écologiquement rationnelles.

Le MDP pouvait générer des crédits d'émission lorsque le projet en question permettait d'obtenir des réductions d'émission supplémentaires de GES par rapport à ce qui aurait été réalisé en l'absence de ce projet (dans le cadre du scénario de référence). A la différence de la MOC, le pays où le projet MDP était mis en œuvre ne perdait pas de quotas puisqu'aucun objectif de réduction n'a été assigné aux pays en développement. A noter, enfin, qu'au titre de l'article 12 du Protocole de Kyoto, les Parties visées à l'annexe I pouvaient utiliser les URCE résultant de projets MDP "***pour remplir une partie de leurs engagements chiffrés"*** de réduction des émissions. En clair, l'acquisition des URCE devait venir en complément des mesures prises au niveau national.

Accord de Paris (à partir de 2021)

© COP Paris/Flickr

L'Accord de Paris a été adopté à la COP-21, le 12 décembre 2015, après quatre années de négociation dans le cadre d'un processus lancé à la COP-17 à Durban (Afrique du Sud) en 2011. En effet, un nouvel organe subsidiaire, le groupe de travail ad hoc sur la plate-forme de Durban (dit groupe ADP), avait été créé à Durban, avec pour mandat d'élaborer, soit un Protocole, soit un nouvel instrument juridique, soit un texte convenu d'un commun accord ayant force juridique dans le cadre de la CCNUCC qui soit applicable à toutes les Parties. L'ADP devait achever ses travaux au plus tard en 2015 pour que le nouvel accord soit adopté à la COP-21 en vue de son entrée en vigueur à partir de 2020.

L'Accord de Paris a ainsi été adopté en application de la CCNUCC par ses 197 Parties. C'est le premier instrument juridique international qui lie pays industrialisés et pays en développement dans un nouveau régime commun et unifié visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'Accord de Paris fixe l'objectif de limiter la hausse des températures moyennes mondiales "*nettement en dessous de*" 2°C (d'ici 2100) par rapport aux niveaux pré-industriels et de viser si possible 1,5°C.

Pour atteindre cet objectif global, des objectifs de réduction des émissions, quoique non quantifiés, ont été fixés :

- parvenir à un pic des émissions "*dans les meilleurs délais*",
- réaliser des réductions rapidement après le pic de manière à parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques de gaz à effet de serre et les absorptions par les puits au cours de la deuxième moitié du 21e siècle.

Toutes les Parties doivent engager et communiquer des efforts ambitieux via des "**contributions déterminées au niveau national**" **(NDC)** dans le cadre d'une approche ascendante (et non descendante comme dans le cadre de la première période du Protocole de Kyoto) en vue d'atteindre l'objectif global de l'Accord. Les NDC doivent être établies, communiquées et actualisées tous les cinq ans et chaque nouvelle NDC devrait représenter une progression en termes d'ambition par rapport à la précédente. Ce **mécanisme de révision** est donc juridiquement contraignant. Les Parties ont été invitées à soumettre leur première NDC lorsqu'elles ont ratifié l'Accord.

Le nouveau régime mis en place en vertu de l'Accord de Paris visant toutes les Parties de la CCNUCC est venu se substituer à celui du Protocole de Kyoto dont la 2e période s'est terminée le 31 décembre 2020.

Suite à une mobilisation politique et diplomatique inédite au niveau mondial, l'Accord de Paris est entré en vigueur le 4 novembre 2016, soit plus de trois ans avant l'échéance initialement prévue (2020). En effet, les deux

critères pour l'entrée en vigueur de l'Accord (au moins 55 ratifications par des Parties représentant au moins 55% des émissions mondiales de GES) ont été remplis dès le 5 octobre 2016.

Au 14 mai 2024, 195 Parties avaient ratifié l'Accord de Paris, dont les deux dernières, le Vatican le 4 septembre 2022 et l'Erythrée le 7 février 2023. Trois Parties n'ont pas encore ratifié : l'Iran, Libye et Yemen. Quant aux Etats-Unis (17,9%), le retrait par l'administration Trump est devenu effectif le 4 novembre 2020, mais suite à l'élection du nouveau Président américain, Joe Biden, le premier jour de son mandat, le 20 janvier 2021, celui-ci a signé un décret présidentiel (*executive order*) formalisant la réintégration de son pays à l'Accord de Paris (en termes juridiques, une adhésion) en vertu de son article 21. Ce décret a ensuite été transmis aux Nations Unies et la réintégration des Etats-Unis à l'Accord de Paris est devenu effectif le 20 février 2021.

Suite à sa réélection comme Président des États-Unis, Donald Trump a signé un décret présidentiel le jour de sa prise de fonctions le 20 janvier 2025, déclarant son intention de retirer une nouvelle fois son pays de l'Accord de Paris. Conformément à l'article 28 de celui-ci, ce nouveau retrait deviendra effectif un an seulement après réception par le dépositaire de l'Accord (le Secrétaire général de l'ONU) de la notification écrite, soit fin janvier 2026.

L'Accord de Paris constitue un cadre qui a été étayé par plusieurs décisions de la Réunion des Parties à l'Accord de Paris (CMA), organe de prise de décision de l'Accord. En effet, des règles, des procédures et des modalités ont été élaborées par le groupe de travail sur l'Accord de Paris (APA), créé à la COP-21, puis adoptées à la COP-24 (décembre 2018) pour la quasi-totalité des volets de l'Accord (atténuation, transparence, financement, bilan global, comité visant à faciliter la mise en œuvre et à promouvoir le respect de l'Accord, etc.). Ainsi, lors de la 3e partie de la CMA-1, qui a eu lieu à Katowice parallèlement à la COP-24, les Parties ont adopté un ensemble de 18 décisions (décision 3/CMA.1 à décision 20/CMA.1) qui constituent les règles d'application de l'Accord et qui vont permettre sa mise en œuvre concrète et effective depuis le 1er janvier 2021. Cependant, les Parties ne sont pas parvenues à un accord sur la finalisation des règles de mise en œuvre de l'article 6 (mécanismes de marché), ni lors de la COP-24, ni lors de la COP-25 (sous Présidence chilienne, décembre 2019).

La COP-26, qui devait se tenir à Glasgow (Ecosse) en novembre 2020, a été reportée en novembre 2021 en raison de de la pandémie de Covid-19. Le régime de l'Accord de Paris a donc formellement démarré au 1er janvier 2021 sans que l'ensemble des règles de mise en œuvre aient été adoptées : le volet entier de l'article 6 était toujours en suspens. Ce n'est qu'au cours des dernières heures de la CMA-3, qui a eu lieu parallèlement à la COP-26 (à Glasgow donc), que les Parties sont enfin parvenues à un consensus sur la finalisation des règles de mise en œuvre de l'Accord de Paris (*Rulebook*) :

- les règles d'un article entier (l'article 6 sur les mécanismes de marché) : décisions 2/CMA.2, 3/CMA.3 et 4/CMA.4,
- les règles du sous-volet article 4.10 (calendriers communs des NDC) : décision 6/CMA.3,
- les règles des cinq sous-volets de l'article 13 (tableaux de rapportage au titre du cadre de transparence renforcé) : décision 5/CMA.3.

Les années 2022-2023 ont surtout vu le déroulement des travaux du Bilan mondial (*Global Stocktake* ou GST) : l'article 14 de l'Accord de Paris prévoit la réalisation tous les cinq ans, à commencer en 2023, d'un bilan mondial. Il s'agit de dresser un bilan de la mise en œuvre de l'Accord de Paris pour évaluer, d'une part, les progrès *collectifs* (et non ceux des pays *individuels*) vers la réalisation de ses objectifs à long terme (articles 2 et 4) et, d'autre part, les possibilités de renforcer l'action et le soutien. Le bilan mondial porte sur trois domaines thématiques :

- atténuation,
- adaptation et pertes et préjudices,
- moyens de mise en œuvre (soutien financier, transfert de technologies, renforcement des capacités).

La phase technique s'est déroulée de juin 2022 à juin 2023, puis la phase politique a eu lieu lors de la COP-28 (décembre 2023) au cours de laquelle les Ministres ont examiné les résultats de l'évaluation technique et de ses conséquences en vue, d'une part, d'éclairer les Parties dans la mise à jour et le renforcement de leurs objectifs, actions et soutien déterminés au niveau national. Cette phase politique a abouti à une décision de la CMA, la décision 1/CMA.5. Cette décision **fixe plusieurs objectifs, toutefois** non contraignants, notamment dans le cadre d'un **paquet sur la transition énergétique** pour accélérer les mesures d'atténuation des pays. Ainsi, les Parties sont invitées à contribuer collectivement à tripler la capacité mondiale de production des énergies renouvelables et doubler le taux annuel moyen mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique d'ici 2030 et à assurer une transition pour s'éloigner des combustibles fossiles

dans les systèmes énergétiques afin d'atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici 2050.

Lors de la COP-29, ou plutôt de la CMA-6 (novembre 2024), les Parties à l'Accord de Paris se sont mises d'accord non sans peine sur un nouvel objectif collectif chiffré en matière de financement climat et ce, conformément au mandat de la décision 1/CP.21. Ainsi, la CMA a fixé un objectif central de 300 milliards (Md)$/an d'ici 2035, les pays industrialisés devant être les moteurs (pour la mise en œuvre de l'action climat dans les pays en développement). Cet objectif est à atteindre à partir d'un large éventail de sources, publiques et privées, bilatérales et multilatérales, y compris les sources alternatives (taxes internationales [aérien/maritime international, énergies fossiles], marchés carbone,...). Cet objectif central s'inscrit dans le cadre d'un deuxième objectif, plus large, sur le financement climat : au moins 1 300 Md$/an d'ici 2035 provenant de toutes les sources publiques et privées à fournir par tous les acteurs.

La COP-29 a également vu, d'une part, la finalisation des règles de mise en œuvre de l'article 6 de l'Accord de Paris (mécanismes de marché), après six ans de négociation, et d'autre part, l'opérationnalisation du fonds spécifique pour aider les pays en développement « particulièrement vulnérables » à faire face aux pertes et préjudices (c'est-à-dire, d'une part, les pertes et dommages irréversibles induits par le changement climatique qui dépassent les capacités des sociétés et des écosystèmes à s'y adapter, et d'autre part, les impacts socio-économiques qui en résultent).

Accords en dehors de la CCNUCC

Accord sur les HFC (Protocole de Montréal)

Dans le cadre du Protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone (SAO) (1987), un amendement a été adopté le 15 octobre 2016 à Kigali (Rwanda) pour intégrer les HFC aux "substances réglementées" du point de vue de leur production et de leur consommation. Même si les HFC ne sont pas des SAO, ce sont de puissants GES utilisés comme gaz de substitution de 2ème génération aux CFC, après les HCFC (tous deux étant des SAO). L'amendement de Kigali ajoute 18 espèces de HFC au Protocole de Montréal et définit des calendriers de réduction progressive de la production et de la consommation, d'une part pour les pays industrialisés et, d'autre part, pour les pays en développement (PED). L'objectif à terme est de parvenir à une réduction de 85% de la production/consommation par rapport aux années de référence d'ici 2036 pour les pays industrialisés et d'ici 2045 ou 2047 pour les PED.

L'amendement de Kigali, texte juridiquement contraignant, est entré en vigueur le 1er janvier 2019, échéance prévue par l'amendement lui-même, à condition d'avoir été ratifié par 20 Parties. Cette condition a été remplie le 17 novembre 2017, lors de la COP-23, après ratification par la 20e Partie, la Suède. Au 12 mai 2025, il était ratifié par 163 Parties.

Accords dans le secteur de l'aviation (OACI et IATA)

Le dispositif CORSIA

Après six années de négociations, les 191 pays membres de l'Organisation de l'Aviation civile internationale (OACI) sont parvenus, le 6 octobre 2016, lors de sa 39ème Assemblée, à un accord sur un mécanisme pour une mesure mondiale fondée sur le marché. L'OACI a ainsi approuvé la mise en place d'un système mondial de compensation et de réduction des émissions de CO_2 pour l'aviation internationale (CORSIA). Lors de sa 37e Assemblée (2010), l'OACI avait fixé deux objectifs indicatifs pour l'aviation internationale :

- réduction moyenne annuelle mondiale de la consommation de carburant de 2% d'ici 2050,
- stabilisation mondiale des émissions du secteur post-2020 au niveau de 2020 (c'est-à-dire une croissance neutre en carbone du secteur à l'horizon 2020).

CORSIA est un dispositif par lequel les compagnies aériennes devront compenser leurs émissions de CO_2 (seul GES visé) par l'acquisition de crédits d'émission dans le cadre d'un système d'échange mondial. Ces crédits d'émission résulteront du financement de la mise en œuvre de projets de réduction des émissions de GES dans d'autres secteurs (industrie, agriculture, gestion des déchets,...) dans les pays tiers. Ainsi, le système n'oblige pas les exploitants à réaliser des réductions d'émission dans leur propre secteur. La mise en œuvre du dispositif est organisée en trois phases : phase pilote (2021-2023), 1ère phase avec participation volontaire (2024-2026) et 2ème phase contraignante

(2027-2035). Il a été convenu que les émissions moyennes 2019-2020 constituent l'année de référence.

L'accord prévoit également :

- un cycle triennal de conformité qui démarrera lors de la phase pilote. Les exploitants d'aéronefs visés devront respecter leurs obligations de compensation et communiquer chaque année leurs données d'émission à l'autorité désignée par l'Etat où est immatriculé l'avion ;

- un réexamen de la mise en œuvre tous les trois ans, à partir de 2022, pour évaluer les progrès vers la réalisation de l'objectif mondial.

La gestion et la gouvernance du système CORSIA est sous la responsabilité du Conseil de l'OACI.

Le Conseil de l'OACI a également été chargé d'élaborer des recommandations et outils de mise en œuvre, pour adoption, sur :

- les modalités du dispositif MRV (suivi, déclaration et vérification) des émissions de CO_2 dans le cadre de CORSIA. Un dispositif MRV solide et fiable sera indispensable pour garantir l'efficacité de CORSIA

- la mise en place de registres, avec la création d'un registre centralisé au plus tard le 1er janvier 2021.

Avant la mise en place de la phase pilote (2021-2023), d'importants travaux techniques de préparation ont permis d'adopter les modalités de la mise en œuvre de ce nouveau mécanisme.

Le système CORSIA s'articule autour de trois principaux volets :

Normes et pratiques recommandées

Il s'agit d'actions obligatoires par les États et les exploitants d'avions pour mettre en œuvre le système CORSIA (à savoir "que faire, quand", etc.). Lors de sa 214e session (11 -29 juin 2018), le Conseil de l'OACI a adopté, le 27 juin 2018, la première édition de l'Annexe 16, Volume IV (relatif au système CORSIA), à la Convention relative à l'aviation civile internationale (dite Convention de Chicago, 1944). Ce document définit les normes et pratiques recommandées (*Standards and Recommended Practices* ou SARP) concernant :

- la procédure de MRV des émissions annuelles de CO_2 des exploitants d'avion (concrètement, depuis le 1er janvier 2019, tous les 193 Etats membres de l'OACI où sont immatriculées des compagnies aériennes exploitant des vols internationaux doivent, chaque année, surveiller, rapporter et faire vérifier par un tiers les émissions de CO_2 induites par ces vols) ;

- les obligations de compensation des émissions de CO_2 provenant de vols internationaux et réduction des émissions par l'utilisation de carburants admissibles ;

- les unités d'émission.

Manuel technique environnemental

Il s'agit de recommandations sur le processus de mise en œuvre du système CORSIA (à savoir "comment le faire"). La 2e édition de ce manuel a été approuvée en février 2019 par le Comité de protection de l'environnement en aviation (CAEP), organe technique de l'OACI.

Les éléments et outils de mise en œuvre

Le Conseil de l'OACI a approuvé cinq éléments et outils essentiels pour la mise en œuvre de CORSIA (14 documents techniques s'y rapportent) :

- un document précisant les États qui se sont portés volontaires pour participer à la phase pilote de CORSIA et à la première phase a été approuvée par le Conseil de l'OACI et a été publiée en juillet 2020. Au total, 88 Etats (dont la France), représentant près de 80% des activités aéronautiques internationales ont indiqué leur intention d'y participer sur une base volontaire dès 2021 ;

- l'outil d'estimation et de rapportage des émissions de CO_2 (CERT), dont la 2e édition a été publiée en 2019 ;

- les carburants admissibles ;

- les unités d'émissions admissibles. Lors de sa 219e session (2-20 mars 2020), le Conseil a approuvé des unités d'émission admissibles pour utilisation dans le cadre de la phase pilote de CORSIA (2021-2023). Ainsi, six programmes de compensation ont été approuvés par le Conseil ;

- le registre central. Il a été mis en place sous la forme d'une application sécurisée hébergée sur le cloud et qui s'appuie sur une base de données (exploitants d'avions, organismes de vérification, émissions de CO_2 de l'aviation

internationale, carburants admissibles utilisés aux fins de compensation, unités d'émissions annulées,...).

Impact de la pandémie de Covid-19 sur les règles de CORSIA

Suite à la pandémie du Covid-19, le Conseil de l'OACI a décidé, lors de sa 220e session (du 8 au 26 juin 2020), de modifier une des règles de base du système CORSIA, en revenant sur le niveau de référence qui était défini comme étant la moyenne des émissions du secteur des deux années 2019 et 2020. Le Conseil de l'OACI a ainsi pris la décision que le volume des seules émissions de 2019 servira à établir le niveau de référence pendant la phase pilote (2021-2023).

Il a justifié cette décision par la très forte réduction du nombre de vols en 2020 au niveau mondial, et donc des émissions de CO_2 du secteur de l'aviation, en raison du Covid-19. Selon l'OACI, cette situation imprévue et inédite réduirait artificiellement le niveau de référence de CORSIA et induirait un fardeau économique inapproprié pour les exploitants d'avions car, une fois que le trafic aérien connaîtra un retour à la normale (post-Covid-19 donc), ils seraient tenus de compenser un volume plus élevé d'émissions de CO_2.

Lors de la 41e Assemblée générale de l'OACI (27 septembre au 7 octobre 2022 à Montréal, Canada), les représentants des 184 Etats qui y ont participé ont achevé le premier examen périodique du régime CORSIA. Les Etats se sont mis d'accord sur un nouveau niveau de référence pour CORSIA à partir de 2024, correspondant à 85% des émissions de CO_2 de 2019, et sur des pourcentages révisés pour les facteurs de croissance sectoriel et individuel à utiliser pour le calcul des exigences de compensation à partir de 2030.

Le nombre d'États participant au système CORSIA était de 88 en 2021, de 107 en 2022, de 115 en 2023 pour atteindre 126 en 2024 (*source : OACI*).

Adoption d'un objectif neutralité carbone 2050

Toujours lors de la 41e Assemblée générale de l'OACI, les représentants des 184 Etats qui y ont participé ont adopté un objectif mondial collectif *indicatif* à long terme (*Long-Term global Aspirational Goal* ou LTAG) : zéro émission nette de CO_2 (ou neutralité carbone) d'ici 2050. Cet objectif avait été proposé initialement en 2008. Pour atteindre cette neutralité des émissions en 2050, l'OACI table sur les innovations technologiques, la rationalisation des opérations aériennes et le recours aux carburants d'aviation durables (*Sustainable Aviation Fuels*, SAF).

Objectifs de l'ATAG et de l'IATA

Le secteur de l'aviation s'est également fixé un objectif volontaire. Ainsi, le Groupe d'action Transport Aérien (Air Transport Action Group ou ATAG), organisation professionnelle représentant les filières du secteur, a défini un objectif à long terme dans le cadre de son engagement à l'action climat signé en 2008 : réduction de 50% des émissions de CO_2 d'ici 2050 par rapport au niveau de 2005 (objectif indicatif ou *aspirational goal*). Cet objectif a été repris en 2009 par l'Association Internationale du Transport Aérien (IATA) mais, à ce jour, pas par l'OACI.

Le 4 octobre 2021, la 77e Assemblée générale annuelle de l'IATA, qui s'est tenue à Boston du 3 au 5 octobre 2021, a adopté une résolution fixant un objectif de neutralité carbone (zéro émission nette) à l'industrie mondiale du transport aérien d'ici 2050, de manière à s'aligner sur l'objectif de l'Accord de Paris. A court terme, la résolution de l'IATA réaffirme son soutien au dispositif CORSIA mis en œuvre par l'OACI. A long terme, d'après l'IATA, cet engagement suppose une élimination cumulative totale de 21,2 Gt de CO_2 entre 2021 et 2050. Un scénario envisagé par l'IATA est que cette élimination se fasse à 81% via des réductions d'émissions :

- 65% via la réduction d'émissions permise par les carburants d'aviation durables (*Sustainable Aviation Fuels* ou SAF) ;
- 13% via la réduction d'émissions permise par de nouvelles technologies de propulsion, comme l'hydrogène ;
- 3% via des gains d'efficience ;
- les 19% restants seraient atteints via des actions de captage et séquestration du carbone (11%) et d'autres moyens de compensation (8%).

Accord dans le secteur maritime (OMI)

Lors de sa 70e session (octobre 2016), le Comité de protection du milieu marin (*Marine Environment Protection Committee* - MEPC), organe technique au sein de l'Organisation maritime internationale (OMI), s'est mis d'accord sur une feuille de route 2017-2023 pour élaborer une stratégie globale de l'OMI, en deux étapes : une stratégie initiale de réduction des émissions de CO_2 des navires au printemps 2018 et une stratégie révisée (finale) au printemps 2023.

Le transport maritime international représente aujourd'hui 2 à 3% des émissions mondiales totales de CO_2 mais cette part pourrait atteindre 10% en 2050 en l'absence de mesures robustes (*source : Commission européenne, communiqué du 13/04/2018*).

Comme prévu, la 72e session du MEPC (avril 2018) a abouti à l'adoption d'une « **stratégie initiale »** globale de l'OMI pour réduire les émissions de CO_2 des navires avec des mesures de réduction à court (2018-2023), à moyen (2023-2030) et à long terme (au-delà de 2030), assorties de calendriers de mise en œuvre. Cette stratégie initiale visait surtout le CO_2 mais préconisait également des mesures de réduction du CH_4 et des COV, mais ne prenait pas en compte le carbone suie ou le N_2O.

Les objectifs fixés :

- pic : les émissions de CO_2 du secteur devraient atteindre leur niveau maximal dès que possible (pas d'échéance fixée) ;
- objectifs en *absolu* :
    - réduction d'au moins 50 d'ici 2050 par rapport au niveau de 2008,
    - en s'efforçant d'atteindre la décarbonation du secteur conformément à l'objectif à long terme fixé par l'article 4 de l'Accord de Paris (dans la 2e moitié du siècle) ;
- objectifs en *relatif* (intensité carbone) :
    - émissions de CO_2 par tonne-km (tonne de marchandises-km transporté) : réduction d'au moins 40 d'ici 2030 (base 2008),
    - en s'efforçant d'atteindre une réduction de 70% d'ici 2050 (base 2008).

Lors de sa 73e session (22-26 octobre 2018), le MEPC a approuvé un programme d'activités de suivi en guise d'outil de planification pour respecter les échéances fixées dans la stratégie initiale. Dans le cadre du processus qui mène à l'adoption d'une stratégie révisée en 2023, la collecte des données relatives à la consommation de fuel-oil des navires d'une jauge brute égale ou supérieure à 5 000 t est obligatoire depuis le 1er janvier 2019.

Lors de sa 75e session (16-20 novembre 2020), le MEPC a approuvé des propositions de nouvelles règles contraignantes pour réduire l'intensité carbone des navires existants. Il s'agit de propositions d'amendements à la Convention MARPOL 73/78 qui obligeraient les exploitants à suivre une double approche, technique et opérationnelle, pour réduire l'intensité carbone de leurs navires. Ces propositions d'amendements s'inscrivent dans le cadre de l'objectif de réduction de la stratégie initiale (réduction d'au moins 40% d'ici 2030 des émissions de CO_2 par tonne-km, base 2008).

Ces mesures se décomposent en deux volets :

- un **volet « technique** » : avec la mise en place d'une certification obligatoire de l'efficacité énergétique des navires, les exploitants seront tenus de calculer l'indice d'efficacité énergétique pour les navires existants (*Energy Efficiency Existing Ship Index* ou EEXI) afin d'améliorer leur efficacité énergétique et donc de réduire leur consommation de combustible. Les navires devront mettre en place en 2023 au plus tard de nouveaux équipements (limiteurs de puissance, systèmes améliorant l'hydrodynamisme et la consommation d'électricité, dispositifs d'assistance de propulsion à la voile, recours aux biocarburants,...) afin de réduire immédiatement leur intensité carbone ;
- un **volet « opérationnel »** : une notation individuelle de l'intensité carbone réelle (consommation de combustible du navire / distance parcourue) sera attribuée aux navires (note de A à E) chaque année sur la base de leurs performances de l'année précédente, en référence à des seuils qui seront abaissés d'année en année. Les navires classés D trois années consécutives, ou E, seront tenus de soumettre un plan d'actions correctives montrant comment ils prévoient d'être classés C, B ou A. Ce dispositif de classement annuel, baptisé « notation d'indicateur d'intensité carbone (*carbon intensity indicator* [CII] *rating*), devrait conduire à réduire la vitesse de certains navires ou encore encourager la propulsion par voile.

Ce nouveau cadre s'appliquera à la très grande majorité des navires du transport maritime international. Il devrait apporter davantage de transparence sur les performances des navires et facilitera les prochaines étapes de la décarbonation du secteur maritime, en permettant notamment aux États, aux financeurs, aux clients ou aux ports de mettre en place sur cette base des mesures additionnelles ou des mécanismes d'incitation de type bonus-malus.

Lors de sa 76e session (10-17 juin 2021), le MEPC a formellement adopté ces propositions

d'amendements, constituant les premières mesures concrètes visant à mettre en œuvre sa stratégie initiale et notamment son objectif de réduction de l'intensité carbone des navires d'ici à 2030. Les amendements devaient entrer en vigueur le 1er novembre 2022 et les obligations concernant la certification EEXI et la notation CII sont entrés en application le 1er janvier 2023. Le premier rapportage annuel a été réalisé en 2023 et la première notation a été effectuée en 2024.

La France avec ses partenaires européens se sont fortement mobilisés pour défendre un objectif de réduction de l'intensité carbone de 22% sur le volet opérationnel jusqu'en 2030 par rapport à 2019. Malgré ces efforts, cependant, une majorité d'États membres de l'OMI, dans la dernière ligne droite des négociations, se sont alors prononcés en faveur d'une réduction de l'intensité carbone du volet opérationnel limitée à 11% entre 2020 et 2026 (par rapport à 2019).

Lors de ses 78e (6-10 juin 2022) et 79e session (12-16 décembre 2022), le MEPC a poursuivi ses travaux sur la révision de la stratégie initiale et sur l'identification des mesures à élaborer en priorité dans le cadre d'un panier de mesures techniques et économiques à valider par le MEPC lors de la 80e session (3-7 juillet 2023).

De plus en plus d'États (au premier rang desquels les pays industrialisés et les petits Etats insulaires, mais aussi certains grands pays émergents [Vietnam, Chili et Nigeria]) ont appelé à la définition d'un objectif de zéro émission (nette) de GES en 2050 pour le secteur du transport maritime international, alors que d'autres pays émergents (Chine, Argentine et les Emirats arabes unis [pays hôte de la COP-28]) s'y sont fermement opposés.

Lors de sa 80e session (3-7 juillet 2023), le MEPC a adopté la stratégie révisée de l'OMI sur la réduction des émissions de GES des navires. Elle comprend une ambition commune renforcée de parvenir à réduire à zéro les émissions nettes de GES provenant des transports maritimes internationaux « *autour de* » 2050 (contre une réduction d'au moins 50% d'ici 2050 par rapport au niveau de 2008, objectif fixé dans la stratégie initiale de 2018), un engagement à garantir l'adoption de combustibles de substitution à émissions de GES nulles ou quasi nulles d'ici à 2030, ainsi que des objectifs intermédiaires indicatifs pour 2030 et 2040 : réduire les émissions annuelles totales de GES provenant des transports maritimes internationaux :

- d'au moins 20% d'ici à 2030 (par rapport à 2008), en s'efforçant de faire passer ce pourcentage à 30% ; et
- d'au moins 70% d'ici à 2040, par rapport à 2008, en s'efforçant de faire passer ce pourcentage à 80%.

Au titre de cette stratégie de 2023, l'OMI doit élaborer et mettre au point de façon définitive un ensemble de mesures (*basket of measures*) envisageables permettant d'atteindre les objectifs de réduction qui comprendrait les deux éléments :

- un élément technique (norme sur les combustibles à usage maritime en fonction d'objectifs qui réglementent la réduction progressive de l'intensité des émissions de GES des combustibles marine ;
- et un élément économique, fondé sur un mécanisme de tarification des émissions de GES dans le secteur maritime.

Cet ensemble de mesures doit être formellement adopté lors d'une session extraordinaire du MEPC à l'automne 2025. L'entrée en vigueur des mesures est prévue en 2027. La stratégie de 2023 doit faire l'objet d'un réexamen qui sera lancé lors de la 86e session du MEPC (été 2027). Ce réexamen doit aboutir à l'adoption, lors de la 88e session (automne 2028), d'une nouvelle stratégie de l'OMI sur la réduction des émissions de GES des navires.

Lors de sa 82e session (30 sept. – 4 oct. 2024), plusieurs questions environnementales ont été évoquées, y compris les mesures en faveur de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) provenant des navires, l'amélioration du rendement énergétique des transports maritimes, la lutte contre les déchets marins, la gestion des eaux de ballast et la réduction du bruit sous-marin.

Lors de la 83e session (7-11 avril 2025) du Comité de protection du milieu marin (MEPC 83), l'**OMI a approuvé la réglementation "zéro émission nette" pour le transport maritime mondial,** autrement dit un cadre juridiquement contraignant visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) des navires à l'échelle mondiale, avec pour objectif des émissions nettes nulles avant ou vers 2050.

L'approbation du projet d'amendements à l'annexe VI (Prévention de la pollution de l'atmosphère par les navires) de la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (Marpol) rend obligatoire le "Cadre de l'OMI afférent à la réduction à zéro des émissions nettes". C'est, de même source, le premier au monde à combiner des limites d'émissions obligatoires et une tarification des GES pour l'ensemble d'un secteur d'activité.
Ces mesures qui comprennent une nouvelle norme en matière de combustible pour les navires et un

mécanisme mondial de tarification des émissions, devraient être officiellement adoptées en octobre 2025 avant d'entrer en vigueur en 2027, et deviendront obligatoires pour les grands navires océaniques d'une jauge brute supérieure à 5 000 tonnes brutes, qui émettent 85 des émissions totales de CO_2 du transport maritime international (*source : OMI, 11 avril 2025*).

Autres résultats de MEPC 83
La réunion a abordé une série de questions liées à la protection de l'environnement marin des risques liés au transport maritime, avec les principaux résultats suivants en ce qui concerne l'air et le climat :

- Approbation d'une proposition visant à désigner l'Atlantique du Nord-Est comme zone de contrôle des émissions et accord de principe pour désigner deux nouvelles zones maritimes particulièrement vulnérables au large de la côte pacifique de l'Amérique du Sud ;
- Approbation du projet de plan de travail sur la mise en place d'un cadre réglementaire pour l'utilisation des systèmes de captage du carbone à bord ;
- Adoption d'amendements aux Directives de 2021 sur les facteurs de réduction de l'intensité carbone opérationnelle par rapport aux lignes de référence (Directives sur les facteurs de réduction relatifs aux CII ou Directives G3).

Politique climat de l'UE

Vue d'ensemble

Paquet climat énergie 2020

L'Union européenne se mobilise depuis près de quarante ans pour le climat. Ainsi, en mars 2007, le Conseil européen a approuvé trois objectifs à l'horizon 2020, dits « 3x20 », ou encore le Paquet climat-énergie : réduire de 20 les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 ; porter à 20 la part des énergies renouvelables dans les énergies consommées (la consommation finale brute d'énergie) ; améliorer de 20 l'efficacité énergétique (une réduction de la consommation d'énergie primaire par rapport au scénario tendanciel de 2020).

L'effort total de réduction des émissions (-20% par rapport aux niveaux de 1990) est réparti entre les secteurs inclus dans le Système d'échange de quotas d'émissions (SEQE) et les secteurs hors SEQE (bâtiments du secteur résidentiel-tertiaire, transports, petites installations industrielles, déchets, agriculture, etc.).

Le Paquet énergie-climat de mars 2009 a fixé des moyens plus précis pour atteindre ces objectifs et les a répartis entre les États membres. Ces derniers pouvaient adopter des réglementations nationales plus restrictives. Un élément clé de la politique climatique européenne était de poursuivre le système d'échange de quotas d'émissions.

Un nouveau Paquet énergie-climat, présenté par la Commission européenne le 22 janvier 2014, avait fixé des objectifs à l'horizon 2030 : réduire d'au moins 40 les émissions de GES de l'UE (base 1990) ; porter à au moins 27 la part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie de l'UE ; améliorer d'au moins 27 l'efficacité énergétique (une réduction de la consommation d'énergie primaire par rapport au scénario tendanciel de 2030). Ces objectifs ont été approuvés par le Conseil européen le 24 octobre 2014. La Commission a proposé trois paquets législatifs définissant les mesures afin d'atteindre ces objectifs. Ces propositions législatives ont été adoptées entre 2018 et 2019.

En outre, en 2011, la Commission européenne avait publié une feuille de route sur la transition de l'Union européenne vers une économie sobre en carbone à l'horizon 2050. Elle définissait la trajectoire à suivre pour atteindre l'objectif de l'UE fixé pour 2050 : réduction de 80 des émissions de GES d'ici 2050 (base 1990) au moyen de mesures internes uniquement, ce qui impliquait des réductions intermédiaires de 40 d'ici 2030 et de 60 d'ici 2040 (base 1990).

Elle avait également présenté un livre Blanc « transports 2050 » sous forme d'une feuille de route fixant plusieurs objectifs à cet horizon : tous modes confondus : baisse des émissions de GES d'au moins 60 (base 1990) ; transport maritime : réduction des émissions de CO_2 de 40 provenant des combustibles de soute ; aviation : part de 40 de carburants à faible teneur en carbone.

Cette feuille de route soutenant un objectif de réduction des émissions de GES de 80 à 95 d'ici 2050 (base 1990)

avait été validée par 27 des 28 États membres mais la Pologne y a opposé son véto par deux fois.

Enfin, la Commission avait proposé une stratégie européenne bas-carbone **en novembre 2018** fixant l'objectif de neutralité climatique en 2050. Elle a été approuvée par 27 des 28 Chefs d'État et de Gouvernement lors du Conseil européen des 12-13 décembre 2019, la Pologne n'ayant pas, une nouvelle fois, souhaité s'y engager.

	Objectifs Climat de l'UE pour 2020 (paquet climat-énergie adopté en 2007) *Objectif global de réduction d'émissions de GES* **-20% entre 1990 et 2020** (soit -14% entre 2005 et 2020)		
	Emissions couvertes par le SEQE	**Emissions Hors SEQE**	**UTCATF**
Objectifs pour l'UE dans son ensemble	industrie, énergie, aviation **-21% entre 2005 et 2020**	bâtiments, transports, agriculture, déchets, petites industries… **-10% entre 2005 et 2030**	puits de carbone
répartition	Plafond unique de quotas d'émissions de gaz à effet de serre pour l'ensemble de l'Union européenne et par établissement	Objectif réparti par Etat membre (de +20% à -20%)	*non visé*
dont France	environ 22% des émissions nationales	-14% entre 2005 et 2020 pour la France	

Directive relative au Système d'échange de Quotas d'émission (SEQE)

Au titre des dispositions relatives au Protocole de Kyoto mises en œuvre par l'Union européenne (un des trois mécanismes de flexibilité), la directive 2003/87/CE modifiée du 13 octobre 2003 portant sur le système européen d'échange de quotas d'émissions de GES (SEQE-UE en français) ou système de permis d'émissions négociables (EU ETS - *European Union Emissions Trading System* - en anglais), a mis en place des outils réglementaires facilitant l'atteinte d'objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES) déterminés politiquement.

La mise en œuvre de cette directive s'est concrétisée en particulier par :

- l'établissement d'**un système d'échange de quotas d'émission de GES** à compter du 1er janvier 2005,
- quatre périodes d'échange : PNAQ I (plan national d'allocation des quotas) 2005-2007 ; PNAQ II 2008 – 2012; SEQE UE-3 2013 – 2020 ; SEQE-UE 4 2021-2030 ;
- la déclaration par les exploitants, **chaque année, des émissions de gaz à effet de serre**.

Le SEQE constitue une pièce maîtresse de la politique de l'UE dans la lutte contre le changement climatique et un outil essentiel pour réduire de manière économiquement avantageuse les émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit également du premier grand marché du carbone au monde.

Principe de fonctionnement du SEQE

Le principe de fonctionnement du SEQE est d'imposer, depuis 2005, un plafond d'émission aux installations de production d'électricité, aux installations du secteur de l'industrie lourde à forte intensité énergétique (sidérurgie, verrerie, cimenteries, chimie) et à l'aviation (vols intra-UE), ainsi qu'au transport maritime depuis le 1er janvier 2024.

Ces installations fixes et ces compagnies aériennes visées doivent restituer chaque année autant de quotas (1 quota = 1 tonne de CO_2) que leurs émissions vérifiées de l'année précédente. À partir de 2008, elles ont également été autorisées à utiliser une quantité de crédits Kyoto (URCE ou URE) limitée à 13,5 de leur allocation en moyenne.

Allocation des quotas

Au cours des deux premières phases du SEQE (2005-2007, la phase de test, et 2008-2012, première période d'engagement de Kyoto), les installations couvertes ont reçu chaque année une allocation, majoritairement gratuite, fixée par le Plan national d'Allocation des Quotas (PNAQ) de chaque État membre, sous le contrôle de la Commission européenne.

Les textes règlementaires qui définissent les règles harmonisées d'allocations de quotas gratuits aux assujettis ETS sont :

- le règlement (UE) 2019-331 du 19 décembre 2018 définissant les règles transitoires concernant l'allocation harmonisée de quotas d'émissions à titre gratuit, modifié par le règlement 2024/873 du 4 avril 2024 ;
- le règlement (UE) 2019/1842 du 31 octobre 2019 établissant les modalités supplémentaires pour l'adaptation de l'allocation de quotas gratuits liées aux variations du niveau d'activité, modifié par le règlement 2025/772 du 16 avril 2025.

Pour la troisième période du SEQE (2013-2020), l'allocation des quotas a été centralisée au niveau de la Commission européenne. Il n'y avait plus de PNAQ. **L'objectif de réduction des émissions des secteurs du SEQE était fixé à -21% entre 2005 et 2020, soit une réduction annuelle de -1,74% correspondant à une réduction de 38 264 246 quotas (ou 38 264 246 t CO_2)**.

La directive (UE) 2018/410 a mis en place la quatrième phase sur 2021-2030 – elle-même scindée en deux périodes d'allocation, 2021-2025, puis 2026-2030. La directive (UE) 2023/959 du 5 juin 2023 a élargi le périmètre ETS et renforcé l'objectif de réduction des émissions des secteurs couverts.

Des mesures dérogatoires sont prévues pour les secteurs soumis à un risque de perte de compétitivité (dits à risque de fuites[1] de carbone) sur les marchés internationaux. Les allocations gratuites se font sur la base de règles harmonisées et de référentiels au niveau européen (dits *benchmarks*).

Mise aux enchères des quotas

Dans le cadre du SEQE-UE, les assujettis doivent estimer et faire vérifier leurs émissions pour ensuite restituer aux autorités autant de quotas d'émissions. La quantité de quotas de gaz à effet de serre mis annuellement sur le marché est déterminée par rapport à l'objectif de réduction d'émissions européen. Les assujettis sont incités à réduire leurs émissions car les émissions de CO_2 ont un coût économique, et il est rentable de réduire ses émissions si le coût d'abattement est inférieur au prix du quota d'émission.

Les assujettis au SEQE-UE peuvent se procurer des quotas de deux façons : via l'allocation gratuite, ou via l'achat de quotas aux enchères. En effet, dans la limite du plafond fixé, une partie des quotas est mise aux enchères, et une partie est allouée à titre gratuit. Les enchères de quotas d'émissions sont opérées par EEX.

Jusqu'en 2012, la part des quotas mis aux enchères était très réduite : 0,13% sur la première période (2005-2007) et 3,6% sur la 2ème période (2008-2012).

Depuis 2013, la mise aux enchères pour les installations fixes concerne :

- 100% des quotas pour le secteur de l'électricité sauf exemption,
- 20% du plafond de quotas calculés pour les autres secteurs, part croissant régulièrement jusqu'à 70% en 2020.

Des mesures dérogatoires sont prévues pour les secteurs soumis à un risque de perte de compétitivité (dit risque de fuites[15] de carbone) sur les marchés internationaux. Les allocations gratuites se font sur la base de règles harmonisées et de référentiels au niveau européen (dits *benchmarks*).

Au final, au moins 50 des quotas ont été mis aux enchères en 2013 et jusqu'à 75 le seront en 2027.

Échange de quotas

Les quotas sont échangeables :

- une installation qui émet plus que son allocation gratuite peut en acheter sur un marché ;
- une installation qui réduit ses émissions au-dessous de son allocation gratuite peut revendre ses quotas non utilisés.

Le prix du quota fluctue sur le marché en fonction de l'offre et de la demande.

Les échanges entre offreurs et demandeurs de quotas se font de gré à gré, c'est-à-dire par des contrats bilatéraux entre les industriels, ou sur des places de marché, portails électroniques qui rendent publics les prix et les quantités échangées.

Directives et droit français

La directive SEQE a été transposée en droit français par le décret n°2004-832 du 19 août 2004 modifié.

La Commission européenne a adopté le 26 mars 2007 le Plan national d'Affectation de Quotas d'émission

[15] Les fuites de carbone correspondent à une délocalisation des entreprises réalisant des activités émettrices de GES de l'Union européenne vers des pays tiers où la législation est moins stricte.

de la France concernant la deuxième période d'échange de quotas (2008-2012) qui s'est terminée en 2012. Ce plan prévoyait 132,8 Mt CO_2 par année sur cette période (la réserve pour les nouveaux entrants de 3,94 Mt CO_2 était incluse dans le total).

Le décret n°2007-979 du 15 mai 2007 a approuvé le PNAQ II français pour la deuxième période, à savoir 2008-2012, qui constitue la première période d'engagement dans le cadre du Protocole de Kyoto.

Le périmètre des installations visées par le PNAQ pour la période 2008-2012 a été précisé à **l'article R.229-5 du Code de l'environnement**. Il spécifie en particulier les types d'installations compris dans la catégorie des installations de combustion (chaudières, turbines et moteurs à combustion) d'une puissance supérieure à 20 MW (sauf incinération des déchets dangereux ou ménagers) :

- les installations de combustion utilisées pour la fabrication de propylène ou d'éthylène, les installations de combustion liées à la fabrication de noir de carbone,
- les installations de combustion utilisées dans la fabrication de la laine de roche,
- les torchères situées sur les plates-formes d'exploitation du pétrole et du gaz en mer ainsi que dans les terminaux de réception terrestres du pétrole et du gaz,
- les installations de séchage direct utilisées sur les sites de fabrication de produits amylacés et de produits laitiers.

Les types d'installations exclues sont les suivants :

- les installations utilisant de façon directe un produit de combustion dans un procédé de fabrication, notamment les fours industriels, les réacteurs de l'industrie chimique et les installations de réchauffement ou de séchage directs,
- les chaudières de secours destinées uniquement à alimenter des systèmes de sécurité ou à prendre le relais de l'alimentation principale en cas de défaillance ou lors d'une opération de maintenance de celle-ci,
- les groupes électrogènes utilisés exclusivement en alimentation de secours.

La directive 2008/101/CE est venue modifier l'annexe I de la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission (SEQE) de gaz à effet de serre afin **d'y intégrer en 2012 les activités du secteur aérien**. Cette directive a été transposée en droit français par le décret n°2011-90 du 24 janvier 2011.

Toutefois, la dérogation, établie au titre de la décision dite « *stop the clock* » (décision n°377/2013/UE), visant à suspendre temporairement l'application du SEQE aux compagnies aériennes opérant des vols en provenance et à destination des pays hors UE a été prolongée une première fois jusqu'à fin 2016 par le règlement (UE) 421/2014, puis une deuxième fois par le règlement (UE) 2017/2392 jusqu'au 31 décembre 2023.

Concrètement, jusqu'à la fin de 2026, la tarification du carbone de l'UE s'appliquera aux vols **au sein de l'UE/EEE**, ainsi qu'aux **vols à destination de la Suisse et du Royaume-Uni**, en conservant la couverture géographique restreinte actuelle pour l'application internationale des règles. Au plus tard le 1er juillet 2026, la Commission européenne présentera un rapport évaluant l'intégrité environnementale du régime de compensation et de réduction de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) mis en place par l'Organisation de l'aviation civile internationale. Ce rapport doit être accompagné d'une proposition législative permettant de maintenir ou d'étendre le champ d'application du SEQE aux vols en partance au regard de l'intégrité environnementale et des ambitions du CORSIA par rapport aux objectifs fixés dans le cadre de l'accord de Paris. Le dispositif CORSIA s'appliquera aux **vols extra-européens** en provenance et à destination des pays participant au CORSIA.

Les règles actualisées accélèreront la mise en œuvre du **principe du pollueur-payeur** par la réduction progressive des quotas gratuits pour le secteur de l'aviation, avec la vente aux enchères totale fixée à 2026.

Du 1er janvier 2024 au 31 décembre 2030, 20 millions de quotas seront réservés aux exploitants d'aéronefs afin de les inciter à abandonner les combustibles fossiles.

Troisième période

Concernant la troisième période (2013-2020), **l'annexe I de la directive 2009/29/CE a fixé la liste des nouvelles activités à prendre en compte dans le cadre du SEQE :**

- les émissions de CO_2 de la production ou transformation de métaux ferreux et non ferreux (y compris les ferro-alliages),

- les émissions de CO_2 et de PFC de la production d'aluminium primaire,
- les émissions de CO_2 dues au séchage et à la calcination du plâtre,
- les émissions de N_2O de la production d'acide nitrique, adipique et glyoxylique,
- les émissions de CO_2 de la production d'ammoniac et de produits chimiques organiques en vrac,
- les émissions de CO_2 de la production d'hydrogène et de gaz de synthèse,
- le captage des gaz à effet de serre produits par les installations visées par cette même directive en vue de leur transport et de leur stockage géologique,
- le transport par pipelines des gaz à effet de serre en vue de leur stockage géologique,
- le stockage géologique des gaz à effet de serre.

Réforme du marché du carbone

Une réforme du marché du carbone a été mise en place en 2023 avec l'entrée en vigueur le 5 juin 2023 de la directive (UE) 2023/959. Elle inclut notamment :

- un objectif de réduction des émissions de GES à horizon 2030 de -62 par rapport à 2005 sur les secteurs couverts par le SEQE-UE, contre -43 actuellement ;
- pour les installations industrielles, une extinction progressive des quotas gratuits pour certains secteurs industriels (acier, ciment, aluminium, engrais, hydrogène) en lien avec la mise en œuvre d'un Mécanisme d'ajustement carbone aux Frontières (MACF) ainsi que la mise en œuvre de conditionnalités environnementales des quotas gratuits et une modification du champ d'application visant à favoriser les technologies bas-carbone ;
- pour l'aviation, une extinction progressive entre 2024 et 2026 des quotas gratuits historiques ainsi que l'introduction de quotas gratuits visant à soutenir l'utilisation de carburants d'aviation durables et l'articulation du SEQE-UE avec le mécanisme de compensation des émissions CORSIA ;
- l'inclusion dans le périmètre du SEQE – UE du transport maritime en prenant en compte l'intégralité des émissions des trajets intra-européens, et de 50% des émissions entre l'UE et le reste du monde ainsi qu'une montée en charge progressive des obligations imposées aux compagnies maritimes de restitution des quotas d'émissions : 40 pour les émissions de 2024, puis 70 en 2025 et 100 en 2026.

De plus, le périmètre des installations de combustion de puissance supérieure à 20 MW a été élargi à toutes les unités techniques dans lesquelles des combustibles sont brûlés : chaudières, brûleurs, turbines, appareil de chauffage, hauts-fourneaux, incinérateurs, calcinateurs, fours, étuves, sécheurs, moteurs, pile à combustible, unités de combustion en boucle chimique, torchères, ainsi que les unités de postcombustion thermique ou catalytique.

ETS 2

Afin d'encourager les réductions d'émissions de GES dans les secteurs du transport routier et du bâtiment, qui n'étaient pas couverts par le SEQE existant, les colégislateurs de l'UE ont convenu de mettre en place un dispositif distinct mais parallèle pour les émissions de GES issues de combustibles générées par les secteurs concernés.

Ainsi dans le cadre de la directive 2023/959 du 10 mai 2023, l'Union européenne a créé l'ETS 2, un second marché du carbone qui concerne les émissions de GES issues de la consommation d'énergies fossiles par le transport routier (consommation de carburant), les secteurs résidentiel et tertiaire (chauffage des bâtiments) et la petite industrie non couverte par l'ETS 1.

La tarification du carbone sera ainsi étendue à des secteurs qui représentent près de 40 des émissions européennes (non couvertes par l'ETS 1) avec pour objectif de réduire ces émissions de 43 d'ici 2030 (par rapport à 2005). Ce faisant, le principe du pollueur-payeur sera étendu à des usages quotidiens : la mobilité et le chauffage. Pour autant, l'ETS 2 n'inclut pas les émissions agricoles, ni certains usages industriels diffus.

Contrairement à l'ETS1, qui cible des installations fixes, dans l'ETS 2, ce sont les fournisseurs d'énergie (essence, gaz, fioul), et non directement les entreprises et clients résidentiels, qui se chargeront d'acquérir et de restituer, pour le compte de leurs clients et pour leurs émissions vérifiées, les quotas carbone correspondant aux quantités de carburant qu'elles ont mis à la consommation. En d'autres termes, l'ETS 2 place le

point de réglementation en amont, c'est-à-dire au niveau des personnes susceptibles de payer des droits d'accise sur l'énergie (comme les entrepôts fiscaux et les fournisseurs de carburants) et non pas au niveau des consommateurs finaux de carburant.

Ce faisant, le prix des quotas correspondant aux émissions devra être répercuté par les fournisseurs d'énergie sur la facture de leurs clients. Différents mécanismes sont prévus afin de limiter la hausse des prix et la répercussion des coûts de l'énergie sur les consommateurs (plafonds d'émissions, surplus de quotas la première année, décalage d'un an de la première restitution en cas de crise de l'énergie, réserve de stabilité, contrôle de la répercussion des coûts opérée par les fournisseurs d'énergie).

Les quotas prévus dans le cadre de l'ETS 2 ne seront pas fongibles avec ceux négociés dans l'ETS existant et seront mis sur le marché uniquement par voie de vente aux enchères à partir de 2027. Contrairement à l'ETS 1, aucun quota gratuit ne sera alloué sur ce second marché du carbone. Pour favoriser la réduction des émissions, la quantité totale de quotas délivrés par l'ETS 2 sera réduite chaque année de 5,10 au lancement du système puis de 5,38 à compter de 2028.

Bien que la première restitution des quotas au titre de l'ETS 2 ne débutera qu'en 2028 pour les émissions de 2027, la surveillance et la déclaration des émissions ont commencé le 1er janvier 2025.

Le dispositif doit encore être transposé en droit français pour être pleinement applicable.

Énergies renouvelables (EnR) : la France n'a pas atteint son objectif 2020

L'UE s'est fixé l'objectif global contraignant d'une part de 20 d'EnR dans sa consommation finale brute d'énergie (dans le cadre du paquet climat-énergie 2020 (les 3 x 20) adopté en 2007 et mis en œuvre par la directive 2009/28/CE).

Celle-ci a également fixé des objectifs nationaux contraignants pour chacun des 27 États membres (23% pour la France, *cf. annexe I de la directive*). Or, les dernières statistiques sur les EnR publiées par Eurostat (Office des statistiques de l'UE) montrent que la France, avec une part de 20,3 en 2022 puis de **22,3 en 2023**, tangente l'objectif de 23% sans l'avoir atteint. En 2020, la France avait été le seul État membre à ne pas respecter son objectif (part de 19,1).

Paquet climat énergie 2030

Le 22 janvier 2014, la Commission européenne a présenté un ensemble de propositions définissant le nouveau cadre politique climat/énergie de l'UE pour la période 2020-2030, le Paquet Climat-Énergie 2030 (approuvé le 24 octobre 2014 par le Conseil européen).

Réduction des émissions de GES

L'élément clé était un objectif global contraignant de réduction des émissions de GES d'au moins 40% pour l'UE d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990, à atteindre uniquement par la mise en œuvre de mesures à l'échelle nationale (c'est-à-dire sans recours aux crédits d'émissions internationaux issus des mécanismes de projet [MDP et MOC] au titre du Protocole de Kyoto).

Pour l'atteindre, les objectifs de réduction sectoriels étaient - 43% pour les secteurs visés par le SEQE (base 2005), et - 30% pour les secteurs hors SEQE (base 2005), partagés équitablement entre les États membres.

Objectifs pour l'UE dans son ensemble	**objectifs pour 2030** (paquet climat-énergie adopté en 2014) *Objectif global de réduction d'émissions de GES* **-40% (au moins) entre 1990 et 2030** (soit -36% entre 2005 et 2030)		
	Emissions couvertes par le SEQE	**Emissions Hors SEQE**	**UTCATF**
	industrie, énergie, aviation **-43% entre 2005 et 2030**	bâtiments, transports, agriculture, déchets, petites industries… **-30% entre 2005 et 2030**	puits de carbone
répartition	Plafond unique de quotas d'émissions de gaz à effet de serre pour l'ensemble de l'Union européenne et par établissement	Objectif réparti par Etat membre (de -0% à -40%)	*non visé, mais en préparation via la décision 529/2013*
dont France	environ 22% des émissions nationales	-37% entre 2005 et 2030 pour la France	

Réforme structurelle du SEQE

Ce Paquet prévoyait notamment la mise en place et le fonctionnement d'une "réserve de stabilité du marché" afin de remédier aux déséquilibres structurels du SEQE entre l'offre et la demande. La réserve, établie à partir de 2019 (pour la fin de la 3ème période d'échange du SEQE), visait à ajuster automatiquement à la hausse ou à la baisse l'offre de quotas à mettre aux enchères. Ainsi, concrètement, pour chaque année N à compter de 2019, sur la base des données d'émission vérifiées publiées l'année N-1, 24% de la quantité totale des quotas en circulation pouvait être placée dans la réserve si cette quantité totale était égale ou supérieure à 100 millions de quotas. La décision (UE) n°2015/1814 du Parlement européen et du Conseil du 6 octobre 2015, qui est venue modifier la directive quotas (2003/87/CE), a établi formellement cette réserve et défini ses règles de fonctionnement.

La directive (UE) 2018/410 du Parlement européen et du Conseil, adoptée le 4 mars 2018, a révisé en profondeur la directive 2003/87/CE pour la 4e période d'échange (2021-2030). Cette directive a défini les règles de fonctionnement du SEQE pour la période 2021-2030 en vue de renforcer son efficacité.

Parmi les éléments clés de ces règles :

- un facteur de réduction linéaire annuel de 2,2 appliqué au plafond d'émissions maximales autorisées (nombre total de quotas d'émission à allouer) dans le cadre du SEQE (contre 1,74 par an sur la période 2013-2020),

- le doublement temporaire (de 12 à 24) du rythme de retrait des quotas excédentaires du marché pour alimenter la réserve de stabilité du marché (MSR) jusqu'à fin 2023. Cette mesure vise à garantir un meilleur équilibre entre l'offre et la demande de quotas et devrait contribuer à la hausse de leur prix,

- à partir de 2023, la suppression des quotas excédentaires détenus dans la MSR dont le nombre dépasse le nombre total de quotas mis aux enchères au cours de l'année précédente,

- la possibilité de faire passer la part des quotas à allouer à titre gratuit sur la période 2021-2030 de 43 à 46 si la demande totale de quotas en la matière rend nécessaire l'application d'un facteur de correction transsectoriel avant 2030. Si celui-ci est déclenché, il sera appliqué à l'ensemble des secteurs. La part de quotas à mettre aux enchères pourrait donc passer de 57% à 54%,

- un réexamen périodique (calé sur le bilan global prévu par l'Accord de Paris tous les cinq ans à partir de 2023) des règles sur le facteur de réduction linéaire et les fuites de carbone. Il sera réalisé par la Commission européenne,

- une meilleure prise en compte des niveaux de production réels des entreprises pour les règles sur l'allocation de quotas à titre gratuit et l'actualisation des référentiels (*benchmarks*) utilisés pour la déterminer,

- la réserve destinée aux nouveaux entrants contiendra initialement des quotas inutilisés provenant de la période 2013-2020 et 200 millions de quotas provenant de la MSR. Jusqu'à 200 millions de quotas seront reversés à la MSR s'ils ne sont pas utilisés au cours de la période 2021-2030,

- l'ensemble des quotas des secteurs les plus exposés au risque de délocalisation de leur production hors de l'UE sera alloué à titre gratuit. Pour les secteurs moins exposés, ce taux d'allocation à titre gratuit sera de 30% et une suppression progressive de cette allocation débutera après 2026, sauf pour le secteur du chauffage urbain.

Secteurs hors SEQE

Le règlement (UE) 2018/842 du 30 mai 2018 (dit "ESR" pour *Effort-Sharing Regulation*) vise à accélérer les réductions d'émissions de GES, sur la période 2021-2030, dans les secteurs non couverts par le SEQE : transports, agriculture, résidentiel/tertiaire, petites installations industrielles et traitement des déchets. Ces secteurs hors SEQE représentent aujourd'hui environ 60% des émissions totales de GES de l'UE (*source : Conseil de l'UE, 18 déc. 2022*).

Concrètement, il répartit l'effort de réduction des émissions de GES parmi les désormais 27 États membres de l'UE dans les secteurs hors SEQE sur la période 2021-2030 afin d'atteindre l'objectif de

réduction de 30 d'ici 2030 pour ces secteurs (base 2005)[16].

Le règlement ESR

- fixe des objectifs de réduction minimaux contraignants pour chaque État membre pour 2030 (base 2005) dans les **secteurs hors SEQE**. Ces objectifs vont de 0% (stabilisation) pour la Bulgarie à -40% pour la Suède et le Luxembourg. **La France se voit assigner un objectif de -37%,** soit le sixième objectif le plus élevé parmi les Vingt-huit (article 4 et annexe 1),
    - la Commission doit fixer (via des règlements d'application) les quotas (plafonds) annuels d'émissions (en t CO_2e) pour les années 2021-2030, à respecter par les États membres, comme pour la période 2013-2020. Le règlement définit la méthode pour calculer ces plafonds à partir d'une trajectoire linéaire dont le point de départ est la moyenne des émissions de GES en 2016, 2017 et 2018 (les données les plus récentes qui seront disponibles en 2020),

- prévoit plusieurs mécanismes de flexibilité pour aider les États membres à respecter leurs objectifs (articles 5 à 7),

    - la Commission doit évaluer chaque année les progrès accomplis par les États membres dans la réalisation de leurs objectifs et en rendra compte. Cependant, à la différence du régime 2013-2020, un réexamen complet et un contrôle de conformité plus formel ont lieu tous les cinq ans et non plus annuellement. Le 1er réexamen interviendra en 2027 pour les années 2021-2025 et le suivant en 2032 pour les années 2026-2030 et ce, pour aligner le cycle de conformité du nouveau règlement sur celui de l'Accord de Paris (qui est également quinquennal),

    - si la Commission constate qu'un État membre ne réalise pas suffisamment de progrès, ce dernier est tenu de soumettre, dans un délai de trois mois, un plan et un calendrier de mise en œuvre de mesures correctives.

Secteur UTCATF

Le règlement (UE) 2018/841 du 30 mai 2018 a intégré les émissions et absorptions de GES résultant du secteur utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) dans le cadre politique climat-énergie 2021-2030. Cette nouvelle approche constituait un changement de cap important par rapport à sa politique climat 2013-2020 dans la mesure où les émissions et absorptions de GES liées à l'UTCATF n'étaient pas prises en compte dans l'objectif de réduction des émissions de GES pour 2020 (-20%) et ce, alors qu'elles étaient comptabilisées dans le cadre des engagements internationaux de l'UE conformément aux règles fixées en application du Protocole de Kyoto, tant pour la 1ère période (2008-2012) que pour la 2ème (2013-2020).

Le règlement (UE) 2018/841 fixe les modalités de comptabilisation du secteur UTCATF, traité de façon distincte des autres secteurs. Ces règles diffèrent selon les catégories considérées (terres cultivées, prairies et zones humides ; forêts ; produits bois). Il s'agit pour les États membres de faire en sorte que le bilan de ce secteur ne soit pas émetteur (c'est-à-dire qu'il y ait davantage d'absorptions que d'émissions, autrement dit que le secteur soit un puits net) pour deux périodes d'engagements (2021-2025 et 2026-2030). Si ce n'est pas le cas, plusieurs flexibilités sont prévues.

Énergies renouvelables

La directive (UE) 2018/2001 du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (EnR), (refonte de la directive 2009/28/CE), a fixé un objectif collectif contraignant d'au moins 32 d'EnR dans la consommation finale brute d'énergie de l'UE d'ici 2030. Ce texte visait trois secteurs : électricité, production de chaleur et de froid, transports.

En 2023, **dans une volonté d'accélérer la souveraineté énergétique de l'Union européenne (UE)**, la directive sur les énergies renouvelables **(UE) 2023/2413, dite RED III,** entrée en vigueur en novembre

[16] Ce texte a pris le relais de la décision 406/2009/CE (qui a établi la répartition des efforts de réduction des 28 États membres d'alors pour ces secteurs sur la période 2013-2020).

2023, **a revu cet objectif à la hausse en le portant de de 32 à 42,5**.

Gouvernance

Le règlement (UE) 2018/1999 du 11 décembre 2018 sur la gouvernance de l'Union de l'énergie a centralisé les obligations en matière de planification, de déclaration et de surveillance dans le cadre de la législation climat-énergie de l'UE pour renforcer la cohérence et améliorer le coût-efficacité de ces obligations.

Ce mécanisme de gouvernance est fondé sur deux principaux éléments :

- des plans nationaux intégrés énergie-climat (PNIEC ou NECP en anglais) décennaux (art.3 et 4), à commencer par la période 2021-2030. Ainsi, les États membres devaient soumettre à la Commission leur premier PNIEC avant le 31 décembre 2019 (et leur 2e PNIEC d'ici le 1er janvier 2029, etc.). Ces plans doivent comporter une description, d'une part, des objectifs nationaux et des contributions nationales (réduction des émissions de GES, EnR et efficacité énergétique), et d'autre part, des politiques et mesures prévues ou adoptées pour mettre en œuvre ces objectifs et contributions nationales ;

- des stratégies à long terme à un horizon d'au moins 30 ans, dont la première devait être soumise par les États membres avant le 1er janvier 2020.

Le 17 septembre 2020, la Commission a publié une évaluation, à l'échelle de l'UE, des PNIEC des 27 États membres, qui a montré que l'UE était sur la bonne voie pour dépasser son objectif de réduction des émissions de GES qui était alors fixé à au moins 40 d'ici à 2030.

Toutefois, la Commission a conclu que pour atteindre le nouvel objectif de réduction des émissions de GES de -55 en 2030 (base 1990), avalisé le 21 avril 2021 (*voir plus loin*), l'UE devait accroître encore davantage l'efficacité énergétique et la part des EnR[17].

Les États membres devaient mettre à jour leurs PNIEC avant la fin du mois de juin 2023 sous la forme d'un projet. La Commission a évalué ces projets actualisés et a émis des recommandations pour s'assurer que leurs ambitions soient conformes aux objectifs de l'UE pour 2030. Les plans définitifs devaient ensuite être soumis au plus tard le 30 juin 2024.

Tous les États membres ont commencé à supprimer progressivement les **combustibles fossiles** destinés à la production d'énergie, notamment les combustibles fossiles solides, mais seuls quelques-uns ont totalement éliminé le charbon, et tous ne prévoient pas de le faire avant 2030.

Les États membres peuvent adapter leurs politiques et mesures nationales à tout moment, à condition que ces changements soient inclus dans les rapports nationaux intégrés biennaux sur les progrès en matière d'énergie et de climat adressés à la Commission.

Le 28 mai 2025, la Commission européenne a fait savoir que les pays membres ont *« considérablement amélioré leurs [PNIEC]»* et *« comblé l'écart par rapport aux objectifs en matière d'énergie et de climat à l'horizon 2030. »* L'évaluation montre que *« l'UE est actuellement sur la bonne voie pour réduire les émissions nettes de GES d'environ 54 d'ici à 2030 [et tangenter l'objectif officiel de - 55%, par rapport aux niveaux de 1990], si les États membres mettent pleinement en œuvre les*

[17] L'évaluation de la Commission constatait encore un déficit d'ambition pour atteindre les objectifs généraux et les objectifs spécifiques revus à la hausse pour 2030 dans les politiques climat-énergie (paquet «Fit for 55») :
- émissions de GES : malgré une nette diminution au cours des années précédentes, la Commission estimait que les émissions nettes de GES en 2030 seraient inférieures de 51% au niveau de 1990, soit 4 points de pourcentage de moins que l'objectif de 55% fixé par le règlement (UE) 2021/1119 (dit loi européenne sur le climat – voir plus loin). Les États membres devaient établir un cadre propice à la mise en place de politiques et mesures suffisantes dans les domaines des transports, des bâtiments, de l'agriculture et des déchets, et visant à l'amélioration de l'élimination du carbone ;
- EnR : la Commission estimait que la part des EnR dans la consommation finale d'énergie pourrait atteindre entre 38,6 et 39,3 en 2030 à l'échelle de l'UE. Un chiffre nettement supérieur à celui de 32 fixé par la directive (UE) 2018/2001 relatif à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (dite directive RED II), mais inférieur à l'objectif contraignant de 42,5 fixé par la directive (UE) 2023/2413 (dite directive RED III) ;
- efficacité énergétique : la consommation finale d'énergie à l'échelle de l'UE en 2030 pourrait atteindre 814,3 Mtep, ce qui correspondrait à une réduction de 5,8 par rapport aux projections pour 2030 selon un scénario tendanciel. Un chiffre inférieur au niveau de consommation finale d'énergie de 956 Mtep fixé dans la directive (UE) 2018/2002 sur l'efficacité énergétique de 2018, mais supérieur à l'objectif de 763 Mtep fixé dans la refonte 2023 de cette directive (directive (UE) 2023/1791). Seuls quelques États membres proposaient un niveau d'ambition suffisant en ce qui concerne la consommation d'énergie primaire, la consommation d'énergie finale, ou les deux.

mesures nationales et les politiques de l'UE existantes et prévues ».

Les autres volets du paquet climat-énergie 2030

Deux autres directives avaient également été adoptées dans le cadre du paquet climat-énergie 2030 :

- directive (UE) 2018/2002 du 11 décembre 2018 (modifiant la directive 2012/27/UE) relative à l'efficacité énergétique. Elle fixe un objectif collectif indicatif (non contraignant) d'une réduction de la consommation d'énergie primaire ou finale d'au moins 32,5% en 2030 (par rapport au scénario tendanciel pour 2030). La directive ne décline pas cet objectif UE au niveau des États membres mais fixe une obligation d'économies d'énergie annuelles : entre le 1er janvier 2021 et le 31 décembre 2030, les États membres doivent atteindre un objectif cumulé d'économies d'énergie au stade de l'utilisation finale d'au moins 0,8% par an (contre 1,5% par an sur la période 2013-2020). Cet objectif est imposé aux fournisseurs et aux distributeurs d'énergie de chaque État membre via un dispositif de certificats d'économie d'énergie.

- directive (UE) 2018/844 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments.

Le règlement sur les gaz fluorés

Les gaz fluorés, utilisés dans de nombreux produits du quotidien (réfrigérateurs, climatiseurs, pompes à chaleur, médicaments), ont des effets importants sur le réchauffement climatique. Ces produits chimiques d'origine humaine sont en outre responsables de l'appauvrissement de la couche d'ozone, qui nous protège des rayons UV cancérigènes. Il s'agit de très puissants gaz à effet de serre souvent plusieurs milliers de fois plus puissants que le dioxyde de carbone (CO_2).

Avec le CO_2, le méthane et le protoxyde d'azote, les gaz à effet de serre fluorés appartiennent au groupe des gaz à effet de serre couverts par l'Accord de Paris adopté au titre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). La réduction de l'usage des gaz fluorés, ainsi que leur substitution par des solutions plus respectueuses du climat, sont nécessaires. Les émissions de gaz à effet de serre fluorés représentent aujourd'hui 2,5 des émissions totales de gaz à effet de serre dans l'Union européenne[18].

Le règlement (UE) n° 517/2014 du Parlement européen et du Conseil du 16 avril 2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés ou GES-F (JOUE L 150 du 20 mai 2014) visait à réaliser des réductions supplémentaires importantes de ces gaz de synthèse utilisés dans les applications industrielles. Ainsi, il visait à réduire d'ici 2030 les émissions de gaz fluorés de l'UE de deux-tiers par rapport aux niveaux de 2014. Les émissions cumulées qui devraient être évitées par la mise en œuvre du règlement sont estimées à 1,5 Gt CO_2e d'ici 2030 et à 5 Gt CO_2e d'ici 2050 (*source : Commission européenne/DG CLIM*). Ce règlement imposait une réduction progressive de la quantité de hydrofluorocarbures (HFC) mise sur le marché par l'allocation de quotas.

Ainsi depuis 2015, la Commission alloue des quotas pour la mise sur le marché de HFC à chaque producteur et importateur pour chaque année selon le mécanisme d'allocation défini à l'annexe VI du règlement.

Le règlement visait deux familles de GES-F et un GES-F individuel :

- les HFC : 19 molécules,
- les hydrocarbures perfluorés (PFC) : 7 molécules,
- l'hexafluorure de soufre (SF_6).

En particulier, le règlement établit des règles sur :

- le confinement, l'utilisation, la récupération et la destruction des GES-F visés,
- les conditions de mise sur le marché (dont l'étiquetage), ainsi que les restrictions d'utilisation de certains produits et équipements contenant des GES-F,
- les conditions applicables à certaines utilisations spécifiques des GES-F,
- les limites quantitatives de mise sur le marché des HFC.

[18] Cf. *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400573*

L'élément central du règlement est le mécanisme de réduction progressive qu'il instaure (*articles 15 à 18 et annexe V*), consistant à appliquer un plafond dégressif au volume total (soit une quantité maximale) de HFC à mettre sur le marché dans l'UE (en t CO_2e). Il a introduit une première réduction en 2016-2017 pour enfin atteindre, d'ici à 2030, 21 des volumes vendus sur la période 2009-2012.

Depuis 2015, la Commission alloue des quotas pour la mise sur le marché de HFC à chaque producteur et importateur pour chaque année selon le mécanisme d'allocation défini à l'annexe VI du règlement.

En juillet 2020, la Commission a lancé des travaux sur la révision de ce règlement, notamment pour le rendre complètement compatible, d'une part, avec les règles du Protocole de Montréal et, d'autre part, avec les nouvelles ambitions climat de l'UE définies dans le cadre du pacte vert (*Green Deal*) et les objectifs du nouveau règlement, dit « loi européenne sur le climat » (renforcement de l'objectif de réduction des émissions de GES à l'horizon 2030, de -40% à -55%, base 1990) et neutralité carbone 2050.

Stratégie bas-carbone 2050

Conformément à l'Accord de Paris (art.4), à la décision 1/CP.21 qui l'accompagnait (par. 35) et au règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'Union de l'énergie (art. 14), la Commission européenne avait publié le 28 novembre 2018 sa proposition de stratégie à faibles émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 visant à conduire l'UE vers la neutralité carbone à cette échéance**, et** couvrant la quasi-totalité des secteurs.

La stratégie visait à fixer un cap et à planifier le chemin à parcourir vers l'objectif de la neutralité carbone en 2050 (zéro émission nette). Elle examinait les options disponibles pour les États membres, les entreprises et les citoyens pour assurer une transition énergétique socialement juste et ayant un bon rapport coût-efficacité. La voie à suivre pour parvenir à une économie neutre pour le climat s'articulait autour de sept axes stratégiques :

- l'efficacité énergétique,
- le déploiement des énergies renouvelables,
- une mobilité propre, sûre et connectée,
- la compétitivité industrielle et l'économie circulaire,

Le nouveau règlement (UE) 2024/573 du Parlement européen et du Conseil du 7 février 2024 dit règlement "F-Gaz", qui remplace le règlement (UE) 517/2014, a relevé le niveau d'ambition, notamment en renforçant le fonctionnement du système de quotas pour limiter les HFC.

Ainsi, le règlement prévoit :

- la réduction progressive de la *production* de HFC, à un minimum (15) à partir de 2036,
- la suppression totale de la *consommation* de HFC d'ici 2050.

Tant la production que la consommation seront réduites conformément à un calendrier serré, avec une allocation dégressive des quotas.

Le nouveau règlement introduit une interdiction totale de mise sur le marché applicable à plusieurs catégories de produits et équipements contenant des HFC (équipements de réfrigération et de climatisation, refroidisseurs, pompes à chaleur, mousses et aérosols,...), assortie d'échéances.

- les infrastructures et les interconnexions,
- la bioéconomie et les puits de carbone naturels,
- le captage et le stockage du CO_2 pour éliminer les émissions résiduelles.

Le Parlement européen a approuvé la stratégie dans une résolution du 19 mars 2019, suivi non sans difficulté par le Conseil européen des 12 au 13 décembre 2019 où les Chefs d'Etat et de Gouvernement des Vingt-huit sont parvenus à un accord quasi-total pour approuver l'objectif de neutralité climatique pour l'UE d'ici 2050. Ainsi, l'UE s'est engagée à atteindre cet objectif à l'exception de la Pologne.

La stratégie définitive a été soumise à la CCNUCC en mars 2020.

Pacte vert pour l'Europe (*European Green Deal*)

Le 11 décembre 2019, la Commission européenne a présenté une nouvelle stratégie de croissance durable dans tous les domaines d'action de l'UE (climat, énergie, industrie, bâtiments, transports, financement...)**.** Baptisée **Pacte vert pour l'Europe** (*European Green Deal*), cette stratégie définit les politiques et mesures pour la mettre en œuvre, assortie d'une feuille de route composée d'actions destinées, entre autres, à réduire les émissions de GES et la pollution de l'air. Parmi les mesures prévues, figure **la première "législation européenne sur le climat"**

visant à inscrire formellement en droit européen l'objectif de neutralité climatique pour l'UE d'ici 2050, ainsi qu'un réexamen de l'ensemble de la politique climat existant de l'UE au vu de ce nouvel objectif. Par exemple, le pacte vert pour l'Europe prévoit la possibilité d'élargir le système d'échange de quotas d'émission (SEQE) à trois nouvelles sources d'émissions de GES, à savoir le résidentiel-tertiaire, le transport routier et le transport maritime.

En application du pacte vert pour l'Europe, la Commission européenne a déposé, le 4 mars 2020, une **proposition de règlement**, dite "**loi européenne sur le climat pour l'Europe**", fixant l'objectif de neutralité climatique à l'horizon 2050. Elle s'inscrit dans la continuité des politiques climat de l'UE après le paquet climat-énergie 2013-2020 et le paquet climat-énergie 2021-2030.

Cet objectif doit être atteint par l'UE dans son ensemble et non pas par chaque État membre.

La proposition de règlement présentait également la voie à suivre pour atteindre l'objectif fixé pour 2050. Le 17 septembre 2020, la Commission a ensuite présenté, sur la base d'une étude d'impact, son "plan cible en matière de climat pour 2030", à savoir une modification de la proposition de règlement du 4 mars 2020, en intégrant un nouvel objectif de réduction des émissions de GES de l'UE pour 2030, conformément à l'engagement en ce sens pris le 16 juillet 2019 par la Présidente de la Commission, Ursula von der Leyen. **La Commission a ainsi proposé de renforcer l'objectif de réduction en vigueur jusqu'ici, d'au moins -40% sur la période 1990-2030, en le faisant passer à au moins -55%. Il s'agit d'un objectif sur les émissions nettes, (avec puits de carbone). C'est la première fois qu'un objectif global de réduction des émissions de GES de l'UE prend en compte ce secteur complexe.** L'objectif d'au moins -55% devra être atteint collectivement par les Vingt-sept (et non individuellement par chaque État membre) mais chaque État membre doit participer à cet effort collectif.

Après son adoption formelle en juin 2021 par le Conseil et le Parlement européen, le règlement (UE) 2021/1119, dit « loi européenne pour le climat », a été publié au Journal Officiel de l'UE le 9 juillet 2021.

Le 14 juillet 2021, la Commission européenne a présenté un **nouveau paquet politique et législatif (dit « *fit for 55 [%]* »)** composé d'un ensemble de 18 propositions d'actes législatifs et documents politiques visant à adapter plusieurs actes législatifs européens en vigueur en matière de climat-énergie pour qu'ils soient compatibles avec le nouvel objectif global de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), de -55% d'ici 2030 par rapport à 1990, objectif formalisé par le nouveau règlement.

Ainsi la Commission a fait les propositions suivantes :

- révision du SEQE (trois propositions) **:**
    - proposition de directive modifiant la directive Quotas 2003/87/CE, la décision (UE) 2015/1814 sur la réserve de stabilité du marché pour SEQE, et le règlement (UE) 2015/757 concernant la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions de CO_2 du secteur du transport maritime,
    - proposition de directive modifiant la directive 2003/87/CE en ce qui concerne la contribution de l'aviation à l'objectif de réduction des émissions de GES et mettant en œuvre un mécanisme de marché mondial,
    - proposition de décision modifiant la décision (UE) 2015/1814 en ce qui concerne la quantité de quotas à placer dans la réserve de stabilité du marché pour le SEQE jusqu'en 2030 ;
- la révision du règlement ESR (2018/842) ;
- la révision du règlement UTCATF (2018/841) ;
- la révision de la directive EnR (2018/2001) ;
- la révision de la directive efficacité énergétique (2018/2002) ;
- la révision de la directive carburants alternatifs (2014/94/UE) ;
- la révision du règlement fixant les normes d'émissions spécifiques de CO_2 pour les voitures et véhicules utilitaires légers (2019/631) ;
- la mise en place d'un mécanisme d'ajustement de carbone aux frontières de l'UE ;
- la révision de la directive taxation de l'énergie (2003/96/CE) ;
- l'initiative sur les carburants durables pour l'aviation (ReFuelEU Aviation) ;
- l'initiative sur les combustibles durables pour le transport maritime (FuelEU Maritime) ;
- la création d'un fonds social pour le climat ;
- la refonte de la directive sur la performance énergétique des bâtiments (directive 2010/31/UE modifiée par la directive (UE) 2018/844) ;

- la nouvelle stratégie forestière pour 2030.

L'ensemble de ces propositions législatives a été soumis aux deux co-législateurs (Conseil de l'UE et Parlement européen) pour examen et adoption[19].

	objectifs renforcés pour 2030 ("Loi européenne sur le climat" adoptée en 2021 et paquet dit "fit for 55") *Objectif global de réduction d'émissions de GES* **-55% (au moins) entre 1990 et 2030** (soit -50% entre 2005 et 2030)			
Objectifs pour l'UE dans son ensemble	**Emissions couvertes par le SEQE**		**Emissions Hors SEQE**	**UTCATF**
	SEQE I : industrie, énergie, aviation **+ maritime** **-62% entre 2005 et 2030**	**SEQE II : bâtiments, routier, autres industries** **-43% entre 2005 et 2030**	agriculture, déchets, petites industries… **-40% entre 2005 et 2030**	puits de carbone **-310 Mt CO2e en 2030**
répartition	Plafond unique de quotas d'émissions de gaz à effet de serre pour l'ensemble de l'Union européenne et par établissement	Système à venir. Les entités réglementées auront une autorisation d'émettre des GES	Objectif réparti par Etat membre (de -10% à -50%)	Objectif réparti par Etat membre et autres règles comptables
dont France	*non encore estimé*	*non encore estimé*	-47,5% entre 2005 et 2030 pour la France	-34 Mt CO2e pour la France

Plusieurs actes législatifs clés issus du paquet politique et législatif « *Fit for 55* [%] » ont été publiés au JOUE, marquant l'aboutissement de presque deux ans de procédure législative et surtout de négociations entre les deux co-législateurs.

Ils sont présentés ci-après, regroupés par thème :

Système d'échange de quotas d'émission (SEQE) de gaz à effet de serre (GES) de l'UE

- révision de la directive SEQE : directive (UE) 2023/959 du Parlement européen et du Conseil du 10 mai 2023 modifiant la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission (SEQE) de GES dans l'UE et la décision (UE) 2015/1814 concernant la création et le fonctionnement d'une réserve de stabilité du marché pour le SEQE de l'UE (JOUE L 130 du 16 mai 2023) ;
- réserve de stabilité du marché (SEQE) : décision (UE) 2023/852 du Parlement européen et du Conseil du 19 avril 2023 modifiant la décision (UE) 2015/1814 en ce qui concerne le nombre de quotas à placer dans la réserve de stabilité du marché pour le système d'échange de quotas d'émission de GES de l'UE jusqu'en 2030 (JOUE L 110 du 25 avril 2023) ;
- aviation et SEQE : la directive (UE) 2023/958 du Parlement européen et du Conseil du 10 mai 2023 modifiant la directive 2003/87/CE en ce qui concerne la contribution de l'aviation à l'objectif de réduction des émissions dans tous les secteurs de l'économie de l'UE et la mise en œuvre appropriée d'un mécanisme de marché mondial (CORSIA) (JOUE L 130 du 16 mai 2023) ;
- maritime et SEQE (MRV des émissions de GES) : règlement (UE) 2023/957 du Parlement européen et du Conseil du 10 mai 2023 modifiant le règlement (UE) 2015/757 afin de prévoir l'inclusion des activités de transport maritime dans le SEQE de l'UE et la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions d'autres GES et des émissions d'autres types de navires (JOUE L 130 du 16 mai 2023) ;
- mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF, en anglais CBAM [*Carbon Border Adjustment Mechanism*]) : règlement (UE) 2023/956 du Parlement européen et du Conseil du 10 mai 2023 établissant le MACF (JOUE L 130 du 16 mai 2023).

Secteurs hors SEQE

- règlement (UE) 2023/857 du Parlement européen et du Conseil du 19 avril 2023 (dit règlement « ESR » ou « règlement répartition de l'effort ») modifiant le règlement (UE) 2018/842 relatif aux réductions annuelles contraignantes des émissions de gaz à effet de serre (GES) par les États membres de 2021 à 2030 contribuant à l'action pour le climat afin de respecter les engagements pris dans le cadre de l'accord de Paris et le règlement (UE) 2018/1999 climat (JOUE L 111 du 26 avril 2023). Ce règlement s'applique aux secteurs non visés par le SEQE (dits hors SEQE), dont les émissions sont diffuses : transports, résidentiel-tertiaire, agriculture, traitement des déchets et petites industries).

Transition juste

[19] La codécision par les deux co-législateurs s'inscrit dans le cadre de la procédure législative ordinaire, prévue par le Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (articles 289 et 294).

- Fonds social pour le climat (FSC ou en anglais SCF [*Social Climate Fund*]) : règlement (UE) 2023/955 du Parlement européen et du Conseil du 10 mai 2023 instituant le FSC (JOUE L 130 du 16 mai 2023).

Transports

- émissions spécifiques de CO_2 des véhicules légers (voitures particulières et camionnettes) : règlement (UE) 2023/851 du Parlement européen et du Conseil du 19 avril 2023 modifiant le règlement (UE) 2019/631 en ce qui concerne le renforcement des normes de performance en matière d'émissions de CO_2 pour les voitures particulières neuves et les véhicules utilitaires légers neufs conformément à l'ambition accrue de l'Union en matière de climat (JOUE L 110 du 25 avril 2023).
- directive (UE) 2024/1275 du Parlement européen et du Conseil du 24 avril 2024 sur la performance énergétique des bâtiments (refonte).

Puits de carbone (UTCATF ou LULUCF en anglais)

- règlement (UE) 2023/839 du Parlement européen et du Conseil du 19 avril 2023 modifiant le règlement (UE) 2018/841 en ce qui concerne le champ d'application, la simplification des règles de déclaration et de conformité, et la fixation des objectifs des États membres pour 2030, et le règlement (UE) 2018/1999 en ce qui concerne l'amélioration de la surveillance, de la communication d'informations, du suivi des progrès et de la révision (JOUE L 107 du 21 avril 2023).

Énergie

- directive (UE) 2023/2413 du Parlement européen et du Conseil du 18 octobre 2023 modifiant la directive (UE) 2018/2001, le règlement (UE) 2018/1999 et la directive 98/70/CE en ce qui concerne la promotion de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, et abrogeant la directive (UE) 2015/652 du Conseil (directive dite RED III) (JOUE L du 31 octobre 2023) ;
- directive (UE) 2023/1791 du Parlement européen et du Conseil du 13 septembre 2023 relative à l'efficacité énergétique (refonte) (JOUE L 231 du 20 septembre 2023) ;

Train de mesures de simplification dit « Omnibus I »

Après l'arrivée au pouvoir de Donald Trump, et la mise en place d'une politique anti-climat aux États-Unis, le Parlement européen a voté le 3 avril 2025 le report des dates d'application des nouvelles législations de l'Union européenne (UE) sur le devoir de vigilance et la publication d'informations en matière de durabilité. Les plus grandes entreprises disposeront d'une année supplémentaire pour se conformer aux nouvelles règles sur le devoir de vigilance.

Carburants

- règlement (UE) 2023/2405 du Parlement européen et du Conseil du 18 octobre 2023 relatif à l'instauration d'une égalité des conditions de concurrence pour un secteur du transport aérien durable (ReFuelEU Aviation) (JOUE L du 31 octobre 2024);
- règlement (UE) 2023/1804 du Parlement européen et du Conseil du 13 septembre 2023 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs et abrogeant la directive 2014/94/UE (JOUE L 234 du 22 septembre 2023) ;
- règlement (UE) 2023/1805 du Parlement européen et du Conseil du 13 septembre 2023 relatif à l'utilisation de carburants renouvelables et bas carbone dans le transport maritime et modifiant la directive 2009/16/CE (FuelEU Maritime) (JOUE L 234 du 22 septembre 2023).

Seule une proposition législative n'a pas encore été adoptée : la révision de la directive relative à la taxation des produits énergétiques et de l'électricité, et en d'autres termes à la taxation de l'énergie (2003/96/CE), dont la dernière révision remonte au 28 novembre 2016. La législation fiscale de l'UE est adoptée par le Conseil qui seul est compétent pour légiférer en matière de fiscalité (adoption à l'unanimité) conformément aux traités de l'UE. Les négociations sur cette proposition sont en cours mais avancent lentement en raison des divergences d'opinion entre États membres sur certains volets du texte.

Certaines entreprises bénéficieront de deux années supplémentaires concernant l'obligation de publication d'informations en matière de durabilité. L'adoption de ces nouvelles législations s'inscrit *« dans une démarche plus large de simplification visant à renforcer la compétitivité de l'Union européenne »,* a fait valoir la Commission, sans mentionner l'offensive de relèvement des taxes douanières menée par le président des États-Unis, Donald Trump.

La stratégie européenne sur l'hydrogène

Dans le cadre du pacte vert pour l'Europe (*Green Deal*), la Commission européenne a présenté le 8 juillet 2020 une stratégie sur l'hydrogène en vue de la neutralité climatique de l'Europe (COM/2020/301). Celle-ci vise à stimuler la production d'hydrogène propre en Europe, et à ouvrir la voie à un secteur de l'énergie plus efficace et moins émetteur. Elle prévoit un nouveau programme

d'investissement dans les énergies propres, qui s'inscrit dans le droit fil du plan de relance de l'UE, et du pacte vert pour l'Europe.

D'abord, la stratégie propose une terminologie des différents procédés de production. Selon le procédé utilisé, la quantité d'émissions de GES générée varie considérablement en fonction de la technologie et la source d'énergie utilisées. La priorité pour l'UE est de développer l'hydrogène renouvelable, produit principalement à partir des énergies éolienne et solaire (en gardant à l'esprit l'importante quantité d'électricité supplémentaire à produire), comme l'option la plus compatible avec l'objectif de neutralité climatique de l'UE d'ici 2050.

Toutefois, à court et à moyen terme, il faudra avoir recours à d'autres modes de production d'hydrogène bas carbone (hydrogène d'origine fossile avec captage du CO_2 et hydrogène électrolytique) pour réduire rapidement les émissions résultant de la production d'hydrogène actuelle et soutenir le développement d'un marché viable à grande échelle.

Le cadre de la politique européenne en matière d'hydrogène proposé par la Commission en juillet 2021, dans le cadre du « paquet Fit for 55 », comprend des objectifs contraignants pour l'absorption de l'hydrogène renouvelable dans l'industrie et les transports d'ici 2030 dans le cadre de la directive révisée sur les énergies renouvelables, entrée en vigueur en 2023.

Ainsi trois étapes ont été définies :

- de **2020 à 2024**, l'installation d'une capacité d'au moins **6 gigawatts** d'électrolyseurs pour la production d'hydrogène renouvelable dans l'UE, avec l'objectif de produire jusqu'à **1 million de tonnes d'hydrogène renouvelable,**
- de **2025 à 2030**, l'hydrogène devra faire partie intégrante du système énergétique intégré de l'UE, avec une capacité d'au moins **40 gigawatts** d'électrolyseurs pour la production d'hydrogène renouvelable et une production allant jusqu'à **10 millions de tonnes d'hydrogène renouvelable** dans l'UE,

- de **2030 à 2050**, les technologies utilisant l'hydrogène renouvelable devraient atteindre leur maturité et être déployées à **grande échelle** dans tous les secteurs difficiles à décarboner.

Une liste des **actions clés** à mettre en œuvre, prévues par la stratégie, est présentée en annexe de la stratégie.

Des orientations récentes aidaient les États membres et les parties prenantes à mettre en œuvre ces objectifs sachant que la date limite avait été fixée au 21 mai 2025.

Le cadre de la politique européenne comprenait également le paquet sur le marché de l'hydrogène et du gaz décarboné, en vigueur depuis 2024, afin de soutenir la création d'infrastructures optimales et dédiées pour l'hydrogène, ainsi qu'un marché efficace de l'hydrogène.

Deux actes délégués sur l'hydrogène renouvelable, adoptés en février 2023, sont venus le compléter. Le premier (Règlement délégué (UE) 2023/1184 de la Commission du 10 février 2023) couvre les carburants renouvelables d'origine non biologique (RFNBO) et fixe les critères pour les produits relevant de la catégorie « hydrogène renouvelable ». L'autre (Règlement délégué (UE) 2023/1185 de la Commission du 10 février 2023) propose un système détaillé pour calculer les émissions d'hydrogène renouvelable et de combustibles carbonés recyclés au cycle de vie afin d'atteindre le seuil de réduction des émissions de gaz à effet de serre fixé dans la directive. Les travaux en vue de l'adoption d'un acte délégué visant à calculer les émissions d'hydrogène à faible émission de carbone sont en cours.

Stratégie européenne pour réduire les émissions de méthane

Le 14 octobre 2020, la Commission européenne a présenté une stratégie de l'UE pour réduire les émissions de méthane (CH_4). Depuis plusieurs années, de nombreux experts appellent à accorder une plus grande attention à la diminution urgente des émissions de CH_4, dont les effets sur le climat sont importants sur le court terme. L'objet de la stratégie est donc de réduire les émissions de CH_4, à la fois en tant que puissant gaz à effet de serre (deuxième contributeur après le CO_2, et forceur climatique à courte durée de vie) et comme polluant atmosphérique (deuxième précurseur d'ozone troposphérique après les NOx).

Cette stratégie cible les trois grands secteurs émetteurs de CH_4 anthropique (représentant 95% des émissions mondiales) ; énergie (charbon, pétrole et gaz) ; agriculture ; et déchets. Elle présente des mesures législatives et non législatives visant à réduire les émissions dans l'UE mais aussi en dehors, en agissant sur les émissions en amont des chaines d'approvisionnement des entreprises européennes.

La stratégie prévoit également des mesures pour renforcer les normes de suivi, vérification et déclaration (système dit « MRV », appliqué pour les inventaires nationaux d'émissions, dont celui de la France réalisé par le Citepa), afin de réduire les écarts de précision entre États membres. Elle inclut aussi le soutien à la

création d'un nouvel observatoire international des émissions de CH_4, en partenariat avec le Programme des Nations unies pour l'Environnement, la Coalition pour le climat et l'air pur et l'Agence internationale de l'énergie. La stratégie souligne aussi le rôle du programme satellitaire Copernicus pour repérer les fuites de CH_4.

En application de cette stratégie, la Commission européenne a présenté, le 15 décembre 2021, une proposition de règlement visant à réduire les émissions de CH_4 issues de la production ou de la consommation d'énergies fossiles dans l'UE.

La proposition de règlement a été soumise aux deux co-législateurs (Conseil de l'UE et Parlement européen) pour examen et adoption dans le cadre de la procédure législative ordinaire, prévue par le Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (*articles 289 et 294*). Les négociations ont abouti à la conclusion, le 15 novembre 2023, d'un accord provisoire entre les deux co-législateurs sur un texte de compromis sur la proposition initiale. Cet accord provisoire a été formellement adopté par le Parlement européen, réuni en plénière, le 10 avril 2024 et par le Conseil de l'UE le 27 mai 2024.

Le règlement (UE) 2024/1787 du 13 juin 2024 - qui est paru au JOUE du 17 juillet 2024 et dont les dispositions sont applicables dans tous les États membres depuis le 4 août 2024, date de son entrée en vigueur -, est le tout premier texte législatif de l'UE visant à réduire spécifiquement les émissions de méthane. Il **doit** permettre à l'UE de réduire les émissions de méthane du secteur de l'énergie afin d'atteindre ses objectifs climatiques et améliorer la qualité de l'air. Il couvre les émissions directes de méthane provenant des secteurs du pétrole, du gaz fossile et du charbon, et du biométhane une fois qu'il est injecté dans le réseau de gaz. Ce texte devrait renforcer la transparence et fournir les outils nécessaires pour réduire ces émissions, tant dans l'UE qu'au niveau mondial.

Ainsi le nouveau règlement oblige l'industrie du gaz fossile, du pétrole et du charbon en Europe à mesurer, surveiller, déclarer et vérifier ses émissions de méthane conformément aux normes de surveillance les plus strictes, et à prendre des mesures pour les réduire. Il impose aux exploitants de gaz, de pétrole et de charbon de l'UE d'arrêter le brûlage à la torche évitable et routinier et de réduire le brûlage à la torche et l'évacuation dans des situations telles que les urgences, les dysfonctionnements techniques ou lorsque cela est nécessaire pour des raisons de sécurité.

L'UE important une grande partie de l'énergie fossile qu'elle consomme, le règlement contribuera aussi à réduire les émissions de méthane provenant des combustibles fossiles importés. Le règlement introduira progressivement des exigences plus strictes afin de garantir que les exportateurs appliquent progressivement les mêmes obligations de surveillance, de déclaration et de vérification que les opérateurs de l'UE.

Les nouvelles règles exigent de la Commission qu'elle mette en place un outil de surveillance des émetteurs mondiaux de méthane afin de fournir des informations, fondées sur des données satellitaires, sur l'ampleur, l'occurrence et la localisation des sources fortement émettrices de méthane situées à l'intérieur ou à l'extérieur de l'UE.

La Commission mettra également en place un mécanisme d'alerte rapide pour les événements « super-émetteurs », c'est-à-dire les incidents au cours desquels des installations, des équipements ou des infrastructures émettent des taux très élevés de méthane. Ce mécanisme servira de système d'alerte rapide pour détecter les cas de super-émission et alerter l'UE ou un pays tiers afin que des mesures soient prises pour les arrêter ou les prévenir.

Pétrole et gaz

Les colégislateurs (Conseil et Parlement européen) ont convenu que les exploitants de ces secteurs doivent détecter et réparer les fuites de méthane. Ils doivent soumettre un programme de détection et de réparation des fuites de méthane aux autorités nationales compétentes neuf mois après la date d'entrée en vigueur de ce règlement et effectuer une première enquête de détection et de réparation des fuites sur les sites existants dans un délai de 12 mois.

Les obligations de réparation des fuites seront également renforcées, de sorte que les exploitants devront réparer ou remplacer tous les composants présentant des fuites de méthane supérieures à certains niveaux immédiatement après la détection d'une fuite ou au plus tard dans les cinq jours qui suivent.

Charbon

Les colégislateurs ont également convenu que les pays de l'UE devaient mesurer et déclarer en permanence les émissions de méthane provenant des mines souterraines en exploitation et des mines à ciel ouvert. En outre, ils devront dresser un inventaire public des mines fermées ou abandonnées au cours des 70

dernières années et mesurer leurs émissions, à l'exception des mines inondées depuis plus de 10 ans.

Le torchage est interdit depuis le 1er janvier 2025. Le dégazage sera interdit à partir du 1er janvier 2027 dans les mines de charbon émettant plus de 5 tonnes de méthane par kilotonne de charbon extrait et à partir du 1er janvier 2031 dans les mines émettant plus de 3 tonnes de méthane par kilotonne de charbon extrait. Le dégazage et le torchage des mines fermées et abandonnées seront interdits à partir du 1er janvier 2030.

Exigences applicables au pétrole, au gaz et au charbon importés

Étant donné que les importations représentent plus de 80 du pétrole et du gaz consommés dans l'UE, les colégislateurs ont décidé d'établir également des exigences pour le pétrole, le gaz et le charbon importés. À partir du 1er janvier 2027, les importateurs devront faire preuve d'exigences équivalentes en matière de surveillance, de déclaration et de vérification au niveau de la production.

Les colégislateurs ont aussi convenu de charger la Commission de présenter un acte délégué dans les trois ans suivant l'entrée en vigueur de la directive (soit avant le 4 août 2027) afin de définir des classes d'intensité de méthane pour le pétrole brut, le gaz naturel et le charbon commercialisés sur le marché de l'UE au niveau du producteur ou de l'entreprise. Cette mesure encouragera les producteurs les plus performants et contribuera à réduire les émissions mondiales de méthane, tout en tenant compte de la sécurité de l'approvisionnement et de la compétitivité internationale de l'UE.

REPowerEU

Le 18 mai 2022, la Commission a présenté un nouveau plan, baptisé REPowerEU (réf. COM(2022)230), en guise de réponse aux perturbations du marché mondial de l'énergie provoquées par l'invasion russe de l'Ukraine. Le plan avait un double objectif :

- réduire rapidement la dépendance de l'UE à l'égard des combustibles fossiles russes, et notamment le gaz,
- lutter contre la crise climatique.

Concrètement, les mesures prévues dans ce plan visent à réaliser des économies d'énergie, à diversifier les approvisionnements énergétiques et à accélérer le déploiement des énergies renouvelables pour remplacer les combustibles fossiles dans les logements, l'industrie et la production d'électricité.

Économies d'énergie

Ce plan REPowerEU inclut notamment une communication sur les économies d'énergie (réf. COM(2022)240), dans laquelle la Commission propose de renforcer les mesures à long terme visant l'efficacité énergétique, notamment en relevant de 9% à 13% **l'objectif contraignant en matière d'efficacité énergétique** (réduction de la consommation d'énergie en 2030 par rapport aux projections du scénario de référence de 2020) fixé par la proposition de directive présentée dans le cadre du paquet « Fit for 55[%] » .

Accélérer le déploiement des énergies renouvelables (EnR)

La Commission proposait **de porter de 40 à 45 l'objectif pour 2030 en matière d'énergies renouvelables** (part d'EnR dans la consommation finale brute d'énergie) fixé par la proposition de directive sur les EnR (dite RED III **– l'acronyme de *Renewable Energy Directive* –** entrée en vigueur en novembre 2023), présentée dans le cadre du paquet « Fit for 55[%] ».

Lors du Conseil Énergie du 19 décembre 2022, les ministres de l'Énergie des Vingt-Sept ont préféré maintenir l'objectif initial en matière d'EnR (de 40) prévu pour 2030. Dans le cadre de l'accord final entre les deux co-législateurs (Conseil et Parlement européen) sur le Plan RePowerEU, l'objectif de 40% a bien été maintenu. Le plan a été publié sous la forme du règlement (UE) 2023/435 du Parlement européen et du Conseil du 27 février 2023.

Puis en 2023, **afin d'accélérer la souveraineté énergétique de l'Union européenne (UE), l'objectif européen fixé pour 2030 a été révisé à la hausse.** Ainsi **RED III fixe la part d'énergies renouvelables qui devra être utilisée d'ici 2030 à 42,5 (contre 32 précédemment).**

D'autres initiatives ont également été présentées dans le cadre du plan REPowerEU, notamment :

- une **stratégie spécifique de l'UE en matière d'énergie solaire** (réf. COM(2022)(221)) visant à **doubler la capacité solaire photovoltaïque** d'ici à 2025 et à installer 600 GW de capacités de production d'ici à 2030 ;
- une **initiative sur les toitures solaires** assortie d'une **obligation légale progressive d'installer des panneaux solaires** sur les nouveaux bâtiments publics et commerciaux et sur les nouveaux bâtiments résidentiels ;
- une recommandation de la Commission (réf. COM(2022)3219) visant à **lutter contre la lenteur et**

la complexité des procédures d'octroi de permis pour les grands projets dans le domaine des énergies renouvelables et une modification ciblée à la fois de la directive en vigueur sur les EnR (directive UE) 2018/2001) et de la proposition de directive dite RED III afin de reconnaître les EnR comme relevant d'un intérêt public supérieur. Les États membres devraient mettre en place des **« zones propices au déploiement des énergies renouvelables »**, bénéficiant de **procédures d'octroi de permis raccourcies et simplifiées** là où les risques environnementaux sont moindres ;

- **la fixation d'un objectif de 10 millions de tonnes de production intra-UE d'hydrogène renouvelable (**déjà prévu dans la stratégie sur l'hydrogène présentée par la Commission européenne le 8 juillet 2020) et de 10 millions de tonnes d'importations d'ici à 2030, afin de remplacer le gaz naturel, le charbon et le pétrole dans les industries difficiles à décarboner et les secteurs des transports. La Commission a également publié **deux actes délégués sur la définition et la production d'hydrogène renouvelable** afin de garantir que la production débouche sur une décarbonation nette. ;
- Un plan d'action pour le biométhane (réf. SWD(2022) 230) définit des outils tels qu'un nouveau partenariat industriel et des incitations financières visant à porter la production à 35 milliards de m^3 d'ici à 2030, y compris dans le cadre de la politique agricole commune (PAC).

Mobilité durable et intelligente : stratégie et plan d'actions

Le 9 décembre 2020, la Commission européenne a présenté une nouvelle stratégie de mobilité durable et intelligente, accompagnée, en annexe, d'un plan d'actions composé de 82 mesures concrètes regroupées en 10 grands domaines d'action (dites initiatives phares ou "*flagships*" en anglais).

Cette stratégie doit guider les travaux et actions de l'UE au cours des quatre prochaines années (2021-2024) pour permettre à l'UE de réaliser l'objectif fixé par le pacte vert pour l'Europe (*Green Deal*) pour le secteur des transports de l'UE : une réduction de 90% d'émissions de GES d'ici 2050 (alors que les transports représentent un quart des émissions de GES de l'UE). Cet objectif sectoriel vise à faire contribuer les transports à la réalisation de l'objectif global de la neutralité carbone de l'UE pour 2050 (tous secteurs confondus).

Pour y parvenir, la nouvelle stratégie de mobilité durable définit les trois piliers des actions futures de l'UE :

1) rendre tous les modes de transport plus durables,
2) faire en sorte que des alternatives durables soient largement disponibles dans un système de transport multimodal,
3) et mettre en place les mesures d'incitation appropriées pour favoriser la transition.

La stratégie détaille ensuite les différentes mesures prévues par "initiative phare", dont beaucoup ont déjà été annoncées dans le pacte vert pour l'Europe.

Le plan d'actions fixe des étapes intermédiaires qui indiquent le stade à atteindre à l'horizon 2030 et 2035.

À l'horizon 2030

- atteindre la mise en service d'au moins 30 millions de voitures dites à zéro émission et de 80 000 camions à zéro émission ('zéro émission' s'applique au moment du l'utilisation du véhicule et non de l'ensemble de son cycle de vie de sa fabrication à sa fin de vie),
- atteindre 100 villes européennes climatiquement neutres, (c'est-à-dire non pas sans émissions mais où les émissions sont intégralement compensées par des absorptions),
- doubler le trafic ferroviaire à grande vitesse sur tout le territoire européen,
- augmenter le trafic ferroviaire de marchandises de 50%,
- rendre neutres en carbone les déplacements collectifs programmés pour des trajets inférieurs à 500 km,
- déployer la mobilité automatisée à grande échelle,
- être prêt à commercialiser les navires à zéro émission.

À l'horizon 2035

- être prêt à commercialiser les avions de grande capacité à zéro émission.

À l'horizon 2050

- la quasi-totalité des voitures, camionnettes, autobus et véhicules utilitaires lourds neufs à zéro émission,
- doubler le trafic ferroviaire de marchandises,
- rendre opérationnel le réseau transeuropéen de transport (RTE-T) multimodal au service de transports durables et intelligents garantissant une connectivité très rapide.

Feuille de route du secteur de l'aviation européenne visant la neutralité carbone en 2050

Le 11 février 2021, cinq fédérations professionnelles du secteur de l'aviation européenne ont conjointement publié une vision commune à long terme pour le secteur et une feuille de route fixant des mesures concrètes pour atteindre l'objectif de zéro émission nette de CO_2 à l'horizon 2050. Les cinq fédérations (*Airlines for Europe* [A4E], *Airports Council International-Europe* [ACI-Europe], Association européenne des industries aérospatiale et de défense [ASD], Association des compagnies aériennes régionales européennes [ERAA] et Organisation des services de la navigation aérienne civile [CANSO]) représentent les constructeurs d'avions, les compagnies aériennes, les aéroports et les prestataires de services de navigation aérienne. Cette vision et cette feuille de route font suite à l'engagement de neutralité carbone en 2050 annoncé le 16 novembre 2020 par le secteur de l'aviation européenne. Baptisée "**Destination 2050 : une route vers une aviation européenne à zéro émission nette**", cette initiative collective du secteur vise à identifier les mesures communes que peuvent mettre en œuvre le secteur et les Gouvernements nationaux des Vingt-sept pour parvenir à une décarbonation des activités de l'aviation européenne en 2050.

Selon les cinq partenaires, au total, la réduction projetée en 2050 par la mise en œuvre de cette feuille de route serait de 250 Mt CO_2, soit l'équivalent des émissions nationales de CO_2 de l'Espagne en 2018 (*source : AIE, 5 octobre 2020*). La feuille de route fixe aussi un cap intermédiaire pour 2030 : une réduction des émissions nettes de CO_2 de 55% des vols intra-européens par rapport aux niveaux de 1990.

Alliance européenne pour l'aviation zéro émission

Le 24 juin 2022 a été lancée l'Alliance européenne pour l'aviation zéro émission (*European Alliance for Zero-Emission Aviation* ou AZEA). Elle fait suite à une annonce de la Commission européenne du 5 mai 2021, et à une consultation publique du 1e septembre au 15 octobre 2021. Cette alliance est une initiative volontaire de partenaires publics et privés partageant l'objectif de préparer la future commercialisation d'avions « zéro émissions » à hydrogène ou électriques. Elle vise identifier et prioriser les difficultés associées notamment pour l'adaptation des infrastructures et des acteurs économiques. Elle est ouverte à tous les acteurs du secteur.

Net Zero Industry Act

Le 16 mars 2023, la Commission européenne a publié une proposition de règlement dit « *Net Zero Industry Act* », visant à établir un cadre de mesures pour renforcer et intensifier la fabrication de technologies essentielles pour atteindre la neutralité climatique (zéro émission nette) en 2050 : panneaux solaires, batteries, électrolyseurs, biogaz et biométhane durable, batteries, pompes à chaleurs, réseaux intelligents, CSC (captage et stockage du carbone). Il s'agit de soutenir des projets de développement de ces technologies, de faciliter l'innovation et les investissements, et de simplifier le cadre réglementaire pour la fabrication de ces technologies et ainsi accroître la compétitivité des acteurs de ce secteur industriel au sein de l'UE.

L'UE étant actuellement un importateur net de plusieurs technologies et de ses composants, l'objectif est que d'ici 2030, la production interne à l'UE réponde à au moins 40% des besoins annuels. D'après la communication de la Commission, publiée en même temps que la proposition de règlement, 90% des plaquettes solaires photovoltaïques (PV) et de certains autres composants de la technologie photovoltaïque sont actuellement importés de Chine.

Par ailleurs, la proposition de règlement fixerait un nouvel objectif en termes de captage et de stockage du CO_2 au niveau de l'UE : assurer une capacité d'injection annuelle de 50 millions de tonnes de CO_2 à atteindre d'ici à 2030. La proposition comprend des mesures en vue de sa mise en œuvre. Ces mesures visent ainsi à établir un marché unique des services de stockage du CO_2, et à améliorer les informations sur les données géologiques relatives aux sites de production de pétrole et de gaz et les projets de capture de CO_2 en cours ou envisagés.

La proposition de règlement représente l'une des initiatives annoncées dans le **plan industriel du pacte vert** (*Green Deal Industrial Plan*), publié le 31 janvier 2023 par la Commission européenne pour créer un environnement réglementaire favorable à l'expansion de l'industrie « nette zéro » dans l'UE.

Cette proposition a été soumise aux deux co-législateurs (Parlement européen et Conseil de l'UE [les Ministres de l'Environnement des Vingt-sept]) dans le cadre de la procédure législative ordinaire de l'UE. Les négociations ont abouti à la conclusion, le 6 février 2024, d'un accord provisoire entre les deux co-

législateurs sur un texte de compromis relatif à la proposition initiale. Cet accord a été formellement adopté par le Parlement européen, réuni en plénière le 24 avril 2024 et par le Conseil de l'UE le 27 mai 2024. Ce texte **a été publié au Journal officiel de l'Union européenne du 28 juin 2024**.

Le 23 mai 2025, la Commission européenne a annoncé avoir pris de nouvelles mesures visant à soutenir la transition de l'UE vers une économie à faible intensité de carbone et à accélérer encore la fabrication de technologies de décarbonation dans l'UE - technologies « zéro net ». De nouveaux actes de droit dérivé et une communication relative au règlement pour une industrie « zéro net » (NZIA) ont été publiés afin d'aider l'industrie de l'UE à devenir plus résiliente, compétitive et à réduire son empreinte carbone.

Ces règles précisent quels projets de fabrication peuvent bénéficier de dispositions spécifiques de la loi, notamment en ce qui concerne l'octroi de permis, l'état d'avancement des projets stratégiques et les critères autres que les prix. Elles précisent également les critères non tarifaires, tels que la durabilité ou la résilience, qui devront être appliqués aux appels d'offres nationaux à partir de 2026.

Cette législation secondaire vise en outre à produire au moins 40 des besoins annuels de l'UE en technologies stratégiques, notamment les modules photovoltaïques, les batteries et les pompes à chaleur.

Captage, stockage et utilisation du CO_2

La Commission européenne a mené entre le 8 juin 2023 et le 31 août 2023 une consultation publique sur le captage, le stockage et l'utilisation du CO_2 (CCUS en anglais) en vue d'élaborer une stratégie pour la gestion industrielle du CO_2 qui visera à créer un marché unique des services de transport et de stockage du CO_2.

Selon la Commission, les technologies de CCUS jouent un rôle important dans l'atteinte de la neutralité carbone dans l'UE d'ici 2050. Le CCUS constitue une option de décarbonation pour certains secteurs où les émissions de CO_2 sont difficiles à réduire (dites émissions résiduelles) et peut contribuer à faire progresser l'élimination du CO_2 dans l'industrie. Le captage, le stockage et l'utilisation du CO_2 est une option de décarbonation dans le cadre de la gestion industrielle du CO_2, laquelle relève de la politique d'atténuation du changement climatique.

Selon la Commission, compte tenu de l'objectif global de l'UE de parvenir à la neutralité climat d'ici à 2050 et afin de fixer un objectif chiffré de réduction des émissions de GES pour l'UE à l'horizon 2040 qui soit conforme à la loi européenne sur le climat, il convient d'analyser dans quels secteurs de l'économie les technologies de gestion du carbone (captage, stockage et utilisation du carbone) peuvent proposer des solutions de décarbonation viables et rentables. Les entreprises utilisant ces technologies auront besoin d'un accès à des infrastructures spécialisées pour le transport du carbone et son stockage souterrain permanent ou son utilisation comme matière première.

Pour remédier aux difficultés de gestion industrielle du CO_2, la Commission préconise la création d'un marché ciblant notamment les fournisseurs européens de technologies, pour les chaînes de valeur du CSC, du CUC et de l'absorption de CO_2.

En bref, l'initiative de la Commission évaluera :

- le rôle que les technologies CCUS peuvent jouer dans la décarbonation de l'économie de l'UE d'ici 2030, 2040 et 2050, respectivement ;
- et les mesures nécessaires pour optimiser leur potentiel, y compris le déploiement d'infrastructures de transport et de stockage du CO_2 à l'échelle de l'UE.

La Commission envisagera d'incorporer les éléments suivants dans la stratégie :

- proposer des objectifs chiffrés en matière d'infrastructures de stockage pour 2040 et 2050 afin de réduire les risques et de mieux orienter les investissements en faveur du marché émergent des solutions de gestion industrielle du CO_2 ;
- recenser les besoins en matière de législation pour les infrastructures émergentes de transport et de stockage du CO_2, y compris l'accès des tiers, les normes de qualité du CO_2, la surveillance législative et la planification à long terme des infrastructures ;
- analyser le rôle de l'élimination industrielle de CO_2 dans les politiques de l'UE en matière de climat ;
- étudier la possibilité d'un financement coordonné, de la part de l'UE et des États membres, de projets de gestion industrielle du CO_2 qui mobilisent des investissements privés en faveur de solutions à long terme de décarbonation et d'utilisation du CO_2 ;
- étudier le rôle que pourrait jouer une initiative industrielle ;
- fixer des jalons pour le développement du marché ;
- étudier la possibilité d'introduire d'autres mesures susceptibles de faciliter le déploiement de la gestion industrielle du carbone en Europe ;
- examiner les questions liées à la sensibilisation du public à la gestion du CO_2 industriel.

Le 8e Programme d'actions pour l'environnement de l'UE

Depuis le début des années 1970, les programmes d'action généraux de l'UE pour l'environnement (PAE) établissent un cadre politique visant à garantir une action coordonnée en matière de politiques environnementales. Le 8e PAE, couvrant la période 2021-2030, a été publié au JOUE L 114/22 du 12 avril 2022 : il s'agit de la décision (UE) 2022/591 du Parlement européen et du Conseil du 6 avril 2022 relative à un programme d'action général de l'Union pour l'environnement à l'horizon 2030. Le Parlement européen l'avait adopté le 10 mars 2022 et le Conseil le 29 mars 2022.

Le 8e PAE vise notamment à accélérer la transition de l'UE vers une économie neutre en carbone, propre, circulaire et du bien-être ; et à aligner la politique de l'UE avec les objectifs du pacte vert pour l'Europe (*European Green Deal*). Il soutient et renforce une approche intégrée des politiques environnementales. Il constitue la base de la réalisation des objectifs en matière d'environnement et de climat définis dans le programme à l'horizon 2030 des Nations unies et ses objectifs de développement durable (ODD), ainsi que des objectifs que poursuivent les accords multilatéraux en matière d'environnement et de climat.

Le 8e PAE définit d'abord (article 2 de la décision) un **objectif général** : « *le 8e PAE a pour objectif à long terme que, au plus tard en 2050, les personnes vivent bien, dans les limites de notre planète, dans une économie du bien-être où rien n'est gaspillé, où la croissance est régénérative, où la neutralité climatique dans l'Union est assurée et où les inégalités ont été considérablement réduites* ».

Le 8e PAE comprend six objectifs thématiques prioritaires dont le suivant :

- la **réduction rapide des émissions de gaz à effet de serre** et le renforcement des puits de carbone naturels en vue d'atteindre l'objectif de -55% (fixé dans le règlement (UE) 2021/1119), tout en garantissant une transition juste ;
- renforcer la résilience et l'**adaptation** au changement climatique, y compris sur la base d'approches écosystémiques, de l'environnement et de la société ;
- réduire l'impact environnemental et climat de la **production et consommation de l'UE**, en particulier pour l'énergie, l'industrie, les bâtiments, la mobilité, le tourisme, le commerce international et le système alimentaire.

Mesures envisagées pour la mise en œuvre des objectifs

L'article 3 de la décision liste des conditions de réalisation des objectifs prioritaires, et notamment :

- privilégier l'application effective du **droit de l'environnement** de l'UE là où cette application fait défaut, y compris au moyen de procédures d'infraction ; renforcer la coopération judiciaire dans le domaine de la **criminalité environnementale**, et accentuer la répression de celle-ci ;
- **intégrer les objectifs prioritaires de ce PAE dans toutes les stratégies**, initiatives législatives et non législatives, programmes, investissements et projets pertinents au niveau de l'Union ainsi qu'au niveau national, régional et local ;
- élaborer un **ensemble d'indicateurs mesurant « au-delà du PIB »,** les progrès sociaux, économiques et environnementaux ;
- veiller à ce que les inégalités sociales résultant des incidences et des politiques liées au climat et à l'environnement soient réduites au minimum,
- supprimer progressivement les subventions préjudiciables à l'environnement, en particulier les **subventions en faveur des combustibles fossiles**, notamment au moyen d'un cadre contraignant de l'UE pour suivre les progrès accomplis par les États membres en ce sens ; par la fixation d'un délai pour la suppression progressive des subventions en faveur des combustibles fossiles compatible avec l'ambition de limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C ;
- identifier d'autres subventions préjudiciables à l'environnement au moyen d'une méthodologie définie par la Commission européenne, en consultation avec les États membres, d'ici à 2023 ;
- garantir **l'intégration** et la prise en considération effectives des **questions de climat et de biodiversité** dans le budget de l'UE, ainsi que la cohérence entre les financements en faveur du climat et de la biodiversité.

  La Commission, soutenue par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) et par l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA), suit et évalue chaque année les progrès réalisés par l'UE et les États membres en ce qui concerne la réalisation de ces objectifs prioritaires fixés, et communique chaque année des informations sur ces progrès (art. 4 de la décision).

Objectif de réduction des émissions de GES à l'horizon 2040

Le 6 février 2024, la Commission européenne a recommandé un nouvel objectif de réduction des émissions de GES pour l'UE, à mi-chemin entre l'objectif de -55% d'ici 2030 (base 1990) et celui de la neutralité climatique d'ici 2050, objectifs déjà fixés : réduction des émissions nettes de GES (avec puits de carbone) de -90% d'ici 2040 par rapport aux niveaux de 1990.

À ce stade, il ne s'agit pas d'une proposition législative mais une simple recommandation formulée dans une communication (réf. COM(2024) 63 final) de la Commission au Parlement européen et le Conseil de l'UE sur la base d'une étude d'impact approfondie sur les trajectoires pour atteindre l'objectif de neutralité climatique en 2050.

Avec la publication de la communication et de l'étude d'impact, la Commission avait lancé un débat politique avec toutes les parties prenantes. Une proposition législative devait être présentée après les élections européennes (6-9 juin 2024) puis soumise aux deux co-législateurs (Parlement européen et Conseil de l'UE) dans le cadre de la procédure législative ordinaire. Au premier trimestre 2025, cette décision n'avait toujours pas été annoncée dans un contexte de remise en cause aux États-Unis des politiques de lutte contre le changement climatique. Malgré le retard pris dans la proposition, la Commission avait précisé fin mars *« maintenir le cap »* et qu'elle proposerait dans un *« avenir proche »* de réduire de 90 d'ici à 2040 les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre de 1990.

Crise climatique : la justice allemande reconnaît la responsabilité des énergéticiens

Les énergéticiens ont, selon la justice allemande, une responsabilité mondiale dans les dommages causés par le changement climatique, auquel ils contribuent via leurs émissions de carbone. C'est ce qu'a établi la cour d'appel de Hamm, en Allemagne, le 28 mai 2025. Elle rendait son jugement concernant la plainte d'un agriculteur péruvien, Saúl Luciano Lliuya, contre l'énergéticien allemand RWE. Il souhaitait contraindre RWE à payer pour compenser le risque d'inondation auquel sa famille et sa communauté étaient exposées, en raison de la fonte d'un glacier, lui-même provoqué par le réchauffement du climat.

Le jugement de la cour comporte deux conclusions distinctes. D'une part, elle a rejeté la plainte de Saúl Luciano Lliuya, car *« la collecte de preuves a montré qu'il n'y avait pas de danger concret pour son terrain »*. Mais elle a donné raison au plaignant sur le principe d'une indemnisation de préjudice climatique, si celui-ci devait être démontré. Si un risque est établi, *« l'émetteur de CO^2 peut être tenu de prendre des mesures »* pour empêcher qu'il ne se concrétise, a indiqué le tribunal dans son communiqué.

Bien que RWE n'ait pas d'activité au Pérou, l'industriel, plus gros producteur d'électricité en Allemagne, est fortement émetteur de gaz à effet de serre, en raison de son exploitation de centrales à charbon, et participe ainsi au changement climatique partout dans le monde. Le tribunal a rejeté l'argument de la distance entre le Pérou et les activités de RWE, actant de la responsabilité mondiale des énergéticiens, et notamment de ceux des pays du Nord, dans les dégradations souvent subies par les pays du Sud. Une *« décision de principe historique »*, dont s'est réjouie l'ONG Germanwatch dans un communiqué.

Politique climat de la France

Plan climat

Assurer la mise en œuvre des engagements que la France avait pris à Kyoto constituait la première étape d'une politique s'inscrivant sur une longue période.

Tout d'abord, la France a traduit ses engagements au travers de la mise en œuvre d'un **Plan Climat 2004** (2004-2012) en 2004. Ce Plan Climat décrivait des actions nationales de prévention du changement climatique à l'horizon 2012. Il déclinait des mesures dans tous les secteurs de l'économie et de la vie quotidienne des Français. L'objectif de ce plan était d'économiser de l'ordre de 10% des émissions françaises à l'horizon 2010 afin de maintenir au minimum la tendance actuelle de stabilisation des émissions de CO_2.

Ce premier **Plan Climat** a été **actualisé en 2006**, du fait, de l'évolution du prix de l'énergie, d'une part, de l'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto en février 2005, d'autre part, et enfin de l'émergence d'un marché mondial de CO_2.

L'objectif était un gain de 6 à 8 Mt CO_2e supplémentaires par an sur la période 2008-2012.

En mars 2010, un **nouveau Plan Climat** de la France a été publié et concerne cette fois-ci la période s'étendant jusqu'en 2020. Selon les projections de cette

mise à jour, la mise en œuvre des réglementations devait permettre de réduire les émissions de GES en 2020 de **21,8%** par rapport à 2005.

Le 6 juillet 2017, le ministre de la Transition écologique et solidaire a présenté un autre Plan Climat qui fixait un nouveau cap : l'objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050. Le Plan visait à renforcer l'action climat de la France pour accélérer la mise en œuvre de l'Accord de Paris.

Ce nouveau Plan s'articulait autour de **six grands thèmes** composés au total de 23 axes prévoyant des mesures à mettre en œuvre sur la période 2017-2022. Les six grands thèmes étaient :

- rendre irréversible l'Accord de Paris,
- améliorer le quotidien de tous les Français,
- en finir avec les énergies fossiles et s'engager vers la neutralité carbone,
- faire de la France le pays n°1 de l'économie verte,
- mobiliser le potentiel des écosystèmes et de l'agriculture pour lutter contre le changement climatique,
- renforcer la mobilisation internationale sur la diplomatie climat.

Le Plan Climat 2017 ne fixait aucun nouvel objectif chiffré de réduction des émissions de GES mais fixait plusieurs autres objectifs et prévoyait de nombreuses mesures parmi lesquelles :

- la disparition des "passoires thermiques" en 10 ans (4 milliards d'euros du plan d'investissements étaient dédiés à ces actions),
- la convergence de la fiscalité essence-diesel au cours du quinquennat (donc avant 2022),
- la fin de la vente de voitures émettant des gaz à effet de serre en 2040 (voitures essence et diesel donc),
- le lancement, au 2e semestre 2017, des Assises Nationales de la Mobilité qui devaient préparer les travaux d'un projet de loi d'orientation des mobilités,
- l'accompagnement, par le Gouvernement, dans le cadre de contrats de transition écologique, de l'arrêt des dernières centrales électriques au charbon d'ici 2022 ou de leur évolution vers des solutions moins carbonées, tout en garantissant la sécurité d'approvisionnement électrique,
- la sortie progressive de la production d'hydrocarbures sur le territoire français à l'horizon 2040, en n'attribuant plus de nouveaux permis d'exploration d'hydrocarbures et en ne renouvelant pas les concessions d'exploitation existantes,
- une augmentation accélérée du prix du carbone fixée pour les cinq années 2017-2022 dans la loi de finances (mesure abandonnée pour 2019 suite à la crise des "gilets jaunes"),
- une fiscalité incitative sur les HFC,
- la révision des documents stratégiques en matière de climat et d'énergie avec la publication d'une nouvelle stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et d'une nouvelle programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) avant la fin 2018. En particulier, la nouvelle SNBC visera la neutralité carbone vers le milieu du siècle,
- le soutien à la création de labels de référence (label Transition énergétique et écologique pour le climat (TEEC), financement participatif pour la croissance verte...),
- la publication avant mars 2018 d'une stratégie nationale pour mettre fin à l'importation de produits forestiers ou agricoles importés contribuant à la déforestation.[20]

Loi Transition Energétique (2015) et Loi Energie Climat (2019)

Loi sur la transition énergétique

La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTE) a été publiée au JO du 18 août 2015. Cette loi a fixé les objectifs et principes, et défini le cadre politique et les outils juridiques, techniques, institutionnels et financiers nécessaires pour accélérer la transition énergétique. La loi LTE comprenait deux grands piliers : les économies d'énergie et les énergies renouvelables (EnR). La loi visait à inscrire les perspectives stratégiques et politiques dans un cadre à moyen et à long terme. En

[20] **Note** : Les émissions de GES au format Plan Climat sont présentées dans la section "Analyse complémentaires – 1 - Emissions de gaz à effet de serre au format dit "Plan Climat".

particulier, le texte comportait de nombreuses dispositions sur la planification de la politique énergétique.

Sur les huit grands titres que comportait la LTE, cinq étaient liés directement ou indirectement aux domaines climat/énergie (Titre Ier : Objectifs, Titre II : Bâtiments, Titre III : Transports, Titre V : EnR et Titre VIII : Outils de programmation et de gouvernance de la transition énergétique).

Dans son article 1er, la LTE a fixé les objectifs chiffrés en matière de climat-énergie. Ainsi, la politique énergétique nationale a pour objectifs :

- de réduire les émissions de GES de 40% d'ici 2030 (base 1990) et de diviser par 4 les émissions de GES d'ici 2050 (base 1990) (le "facteur 4"),
- de réduire la consommation d'énergie finale de 50% en 2050 par rapport à l'année de référence 2012, en visant un objectif intermédiaire de 20% en 2030,
- de réduire la consommation d'énergie primaire des énergies fossiles de 30% en 2030 par rapport à l'année de référence 2012,
- de porter la part des EnR à 32% dans la consommation finale brute d'énergie d'ici 2030. À cet horizon, pour atteindre cet objectif, la part des EnR doit être de 40% dans la production d'électricité, de 38% dans la consommation finale de chaleur, de 15% dans la consommation finale de carburant et de 10% dans la consommation de gaz.

La LTE a établi plusieurs instruments politiques de planification pour favoriser la transition énergétique :

- la stratégie pour le développement de la mobilité propre (article 40),
- la stratégie nationale "bas carbone" ou SNBC (c'est-à-dire à faibles émissions de GES) (article 173) (*voir plus loin*),
- la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) (article 176),
- les plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET) (article 188),
- les programmes régionaux pour l'efficacité énergétique (article 188).
- et établit par ailleurs des instruments relatifs à la pollution de l'air (voir section *Pollution de l'air* de ce chapitre).

La LTE a également établi plusieurs outils politiques, comme les territoires à énergie positive (définis comme étant un territoire qui s'engage dans une démarche permettant d'atteindre l'équilibre entre la consommation et la production d'énergie à l'échelle locale en réduisant autant que possible les besoins énergétiques), la 3e période du dispositif des certificats d'économies d'énergie (article 30), ainsi que les plans de mobilité (article 51). Ce dernier visait à optimiser et à renforcer l'efficacité des déplacements liés à l'activité d'une entreprise, en particulier ceux de son personnel, dans une perspective de réduction des émissions de GES et de polluants atmosphériques et de réduction de la congestion des infrastructures et des moyens de transports.

Loi relative à l'énergie et au climat

La loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (dite loi énergie-climat) a été publiée au JO le 9 novembre 2019. Cette loi a modifié les objectifs nationaux en matière d'énergie et de climat fixés par la LTE, notamment en ajoutant un nouvel objectif de neutralité carbone d'ici 2050 (zéro émission nette) conformément à l'article 4 de l'Accord de Paris. Cette loi :

- a remplacé l'objectif facteur 4 par l'objectif d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 en divisant les émissions de GES par un facteur supérieur à six, par rapport à 1990 ;
- a ajouté un objectif intermédiaire de réduction de la consommation énergétique finale (en 2023), ce qui donnait :

  -7% environ en 2023 (base 2012),

  -20% en 2030 (base 2012),

  -50% en 2050 (base 2012) ;
- a rehaussé **l'objectif de réduction de la consommation énergétique *primaire* des énergies fossiles en 2030** de 30% à **40%** (base 2012), en ajoutant "*dans cette perspective, il est mis fin en priorité à l'usage des énergies fossiles les plus émettrices de GES*" ;
- a fait passer l'objectif de porter la **part** d'**EnR** de 32% de la consommation finale brute d'énergie en 2030 à "***33% au moins***" ;

- a fixé un nouvel objectif pour la politique énergétique nationale : **atteindre, à l'horizon 2030, une part d'hydrogène bas-carbone et renouvelable comprise entre 20 et 40% des consommations totales d'hydrogène et d'hydrogène industriel** pour encourager l'usage dans les secteurs de l'industrie, de l'énergie et des transports.

Par ailleurs, la loi énergie-climat a établi qu'avant le 1er juillet 2023, puis tous les cinq ans par la suite, une loi doit fixer notamment :

- les objectifs climat-énergie (réduction des émissions de GES pour trois périodes successives de cinq ans, utilisation des EnR, réduction de la consommation d'énergie, rénovation énergétique des bâtiments...),
- les niveaux minimaux et maximaux des obligations d'économie d'énergie [pour une période de cinq ans],
- les priorités d'action de la politique énergétique nationale.

Cette obligation représente une nouveauté importante car jusque-là, les objectifs climat-énergie étaient uniquement fixés par la PPE, adoptée par décret en Conseil des ministres.

La loi-énergie-climat a également établi l'obligation pour les budgets carbone de définir également un plafond indicatif des émissions de GES induites par les liaisons de transport au départ ou à destination de la France et non comptabilisées dans les budgets carbone, dénommé "budget carbone spécifique au transport international" (obligation qui s'applique à partir du 1er janvier 2022).

En outre, la loi énergie-climat a établi, dans le cadre de la sortie du charbon prévue par le Plan climat du 6 juillet 2017, l'obligation pour l'autorité administrative de définir un plafond d'émissions applicable à compter du 1er janvier 2022 pour les installations de production d'électricité à partir de combustibles fossiles situées sur le territoire métropolitain continental et émettant plus de 0,550 tonnes de CO_2e/MWh. Le décret n°2019-1467 du 26 décembre 2019 a fixé ce plafond annuel d'émissions de GES à 0,7 kilotonne (soit 700 t) CO_2e/MW de puissance électrique installée, ainsi que des règles à prendre en compte pour le calcul. Par le décret n°2022-1233 du 14 septembre 2022, le Gouvernement a relevé pour la deuxième fois le plafond d'émissions de gaz à effet de serre (GES) pour les installations de production d'électricité à partir de combustibles fossiles (en l'occurrence les centrales thermiques au charbon).

Enfin, loi oblige les entreprises et les collectivités tenues d'établir un bilan d'émissions de GES à y joindre également un plan de transition pour réduire leurs émissions de GES présentant les objectifs, moyens et actions envisagés à cette fin.

Stratégie nationale bas carbone (SNBC) 2015 et 2019

SNBC-1 (2015)

En application de la loi LTE (article 173), la première **stratégie nationale "bas-carbone" (SNBC)** a été publiée au JO du 19 novembre 2015 (décret n 2015-1491 du 18 novembre 2015). La SNBC fixe le cadre général et les mesures à mettre en œuvre pour assurer la transition vers une économie bas-carbone, en formulant des recommandations à prendre en compte dans les politiques publiques, sectorielles et territoriales. La SNBC doit surtout permettre à la France d'atteindre ses objectifs nationaux de réduction des émissions de GES fixés à l'article 1er de la LTE. À cette fin, celle-ci prévoyait l'adoption de "budgets carbone" pour les périodes 2015-2018, 2019-2023 et 2024-2028. Contrairement au plan climat qui ne fixe pas d'objectifs précis, il s'agit ici de plafonds d'émission nationaux de GES à ne pas dépasser pour permettre une visibilité à moyen terme des trajectoires de réduction.

Le décret n°2015-1491 a fixé les trois premiers budgets carbone :

Emissions annuelles moyennes (en Mt CO_2e)	2013	1er budget (2015-2018)	2e budget (2019-2023)	3e budget (2024-2028)
SEQE (hors aviation internationale)	119	110	n.d	n.d
Secteurs hors SEQE	373	332	n.d	n.d
Tous secteurs confondus	**492**	**442**	**399**	**358**

Budgets carbone de la SNBC-1

n.d. : pour les 2e et 3e budgets, la répartition des émissions entre le SEQE et les autres secteurs sera précisée lors de la fixation du 4e budget (2029-2033).

Le 2ème budget (399 Mt CO_2e) représente un niveau plus ambitieux que celui du scénario avec mesures supplémentaires pour 2020 établi dans le Plan Climat de 2010 (437 Mt CO_2e).

Le suivi de la SNBC repose sur un tableau de bord de 184 indicateurs, ainsi que sur une revue bisannuelle de la prise en compte des orientations et recommandations de la SNBC dans les politiques publiques. Le comité

d'experts de la transition énergétique (CETE) ainsi que le Conseil national de la transition écologique (CNTE) sont associés à cette revue, à l'issue de laquelle les indicateurs sont publiés. Ce suivi complète l'évaluation de la SNBC, qui intervient tous les cinq ans, en amont de sa révision sous l'égide du CETE, comme le prévoit le la

Ajustement des budgets carbone de la SNBC-1 (2018)

Une première évaluation du respect du premier budget-carbone (2015-2018) a été réalisée par le Ministère de la Transition écologique en 2018 au regard de l'inventaire national des émissions de GES, réalisé par le Citepa, pour l'année 2016. Cette première évaluation montrait que la France n'était alors pas en mesure de respecter le premier budget-carbone.

Evolution des émissions de gaz à effet de serre en France* 1990-2016 (en Mt CO_2e) au regard du budget carbone 2015-2018.

Cette estimation intégrait un premier ajustement technique des trois premiers budgets-carbone (*voir tableau ci-dessous*), à la baisse, réalisé en 2018 pour tenir compte des évolutions méthodologiques dans la comptabilité des émissions sur les inventaires.

Ajustement en 2018 des premiers budgets carbone

Emissions annuelles moyennes (en Mt CO_2e)	1er budget (2015-2018)	2e budget (2019-2023)	3e budget (2024-2028)
Budgets adoptés en 2015	442	399	358
Budgets ajustés en 2018	**440**	**398**	**357**

Budgets carbone ajustés de la SNBC-1

LTE (art. 173), soit un cycle complet de révision quinquennal. Il convient de noter que le Haut Conseil pour le climat mis en place par le Président de la République le 27 novembre 2018 a remplacé le CETE dans ses missions d'évaluation de la SNBC.

Près d'un cinquième des dépassements observés pour le premier budget carbone était lié à des facteurs conjoncturels défavorables, dont les prix faibles des énergies et, pour les années 2016 et 2017, l'indisponibilité d'une partie du parc de production électrique nucléaire (environ +15 Mt CO_2e sur l'ensemble de la période).

Les écarts d'ordre structurels (environ quatre cinquièmes du dépassement) s'expliquaient par des résultats nettement moins bons que prévu dans les secteurs des transports et du bâtiment (environ +40 à 45 Mt CO_2eq sur l'ensemble de la période pour chacun de ces secteurs) ainsi que de l'agriculture (environ +10 Mt CO_2eq sur l'ensemble de la période). Ces mauvais résultats étaient en partie compensés par des résultats meilleurs que les objectifs de la première SNBC dans le secteur de la production d'énergie malgré l'indisponibilité d'une partie du parc nucléaire (environ 20 Mt CO_2e sur l'ensemble de la période). Outre le faible prix des énergies, la stagnation des émissions dans le secteur des transports s'expliquait notamment par la faible amélioration des performances des véhicules neufs, un rebond des trafics routiers et des résultats moins bons qu'espérés pour le report modal dans le secteur des marchandises. Dans le secteur du bâtiment, l'écart était principalement imputable aux rénovations dont le rythme et l'ampleur sont insuffisants.

SNBC 2

Dans le cadre du cycle complet de révision quinquennal, un projet de SNBC révisée a été publié le 6 décembre 2018. La SNBC-2 a été formellement adoptée par le décret n°2020-457 du 21 avril 2020. Ce décret a fixé également les trois budgets carbone pour les périodes 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033.

Répartition des budgets carbone par grand secteur

Budgets carbone de la SNBC-2 initiale (2020)	2e budget 2019-2023	3e budget 2024-2028	4e budget 2029-2033
Transports	128	112	94
Bâtiments	78	60	43
Industrie	72	62	51
Energie	48	35	30
Agriculture	82	77	72
Déchets	14	12	10
UTCATF	-39	-38	-42
Total hors UTCATF	422	359	300
Total avec UTCATF	383	320	258

La SNBC s'appuie sur un scénario élaboré au cours d'un exercice de projection commun à la Programmation

pluriannuelle de l'Energie (PPE) fondé sur des mesures de politiques publiques supplémentaires (scénario dit avec mesures supplémentaires, AMS) par rapport à celles déjà existantes (scénario dit avec mesures existantes, AME). Ces mesures supplémentaires permettraient à la France de respecter ses objectifs climatiques et énergétiques à court, moyen et long-terme.

Concrètement, la SNBC-2 prévoyait, dans son scénario AMS, que les émissions de GES atteignent un niveau de 80 $MtCO_2e$ (hors UTCATF) en 2050 (contre 546 $MtCO_2e$ en 1990 et 458 $MtCO_2e$ en 2015). Sans pour autant le fixer explicitement comme objectif national de réduction, la SNBC-2 impliquerait donc une réduction non plus par 4 d'ici 2050 (facteur 4), mais par 6,8 (soit -85%, base 1990). Atteindre la neutralité carbone implique donc de compenser ces émissions par des puits de carbone, générant des absorptions annuelles au moins équivalentes (-80 $MtCO_2e$/an).

Le premier budget carbone de la SNBC-1 (budget ajusté ; hors puits de carbone), de 440 $MtCO_{2e}$ en moyenne sur la période de 2015-2018, a été dépassé, avec des émissions de 456 Mt CO_2e en moyenne par an, (soit 16 $MtCO_2e$ par an de dépassement en moyenne).

Par secteur, les objectifs de réduction à l'horizon 2050 (exprimés en facteur de réduction par rapport à 2015 et par rapport au scénario tendanciel "avec mesures existantes" ou AME) étaient les suivants[21] :

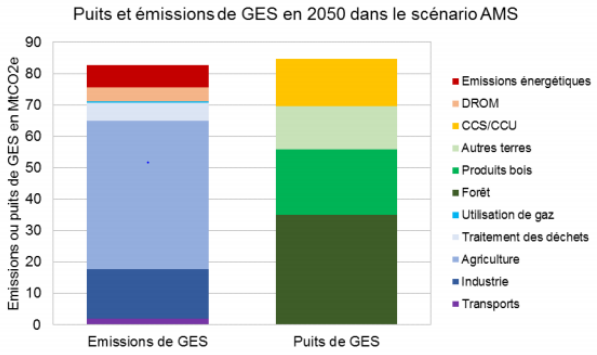
Secteurs	Réduction des émissions par secteur du scénario AMS à l'horizon 2050	
	Par rapport à 2015	Par rapport au scénario tendanciel « avec mesures existantes » (AME) (2050)
Transports	-97%	-97%
Bâtiment	-95%	-92%
Agriculture/sylviculture (hors UTCATF)	-46%	-40%
Industrie	-81%	-78%
Production d'énergie	-95%	-97%
Déchets	-66%	-37%
Total (hors UTCATF)	-83%	-83%

Secteur	Facteur de réduction
Extraction, transformation et distribution d'énergie	36
Industrie manufacturière et construction	9
Traitement centralisé des déchets	3
Résidentiel, tertiaire, commercial, institutionnel	20
Agriculture	2
Transports	33

Sources : MTES, SNBC 2 et projet de SNBC 2.

[21] cf. page 32 SNBC-2

En parallèle, le puits de carbone visé en 2050 était de 82 $MtCO_2e$ (soit un puits plus important que les émissions), réparti entre le puits dit naturel (biomasse en



DROM : départements et régions d'outremer

CCS/CCU : captage et stockage de CO_2/captage et utilisation de CO_2. *Source : MTES, projet de SNBC 2 (p.19).*

Le décret n°2020-457 du 21 avril 2020 a révisé les **budgets carbone pour les périodes 2019-2023 (2e budget) et 2024-2028 (3e budget)** (en remplacement des budgets initialement fixés par la première SNBC et le décret n°2015-1491 pour ces mêmes périodes) et a fixé **un quatrième budget carbone,** pour la période **2029-2033.**

Ajustement des budgets

Les budgets carbone ont été construits sur la base de projections d'émissions, à partir des données d'émissions et tendances passées de l'inventaire. Or, ces données d'inventaire sont sujettes à des recalculs méthodologiques (par exemple l'application de nouvelles valeurs de PRG). Ainsi, des ajustements sont réalisés pour que les budgets soient comparables aux émissions réelles, tout en conservant les niveaux d'ambition relatifs.

Les budgets des périodes 2019-2023 et 2024-2028 ont d'abord été revus entre ceux définis initialement par la SNBC-1 en 2015, et ceux fixés par la SNBC-2. Le budget 2019-2023 pour tous les GES s'élevait à 398 Mt CO_2e/an (hors UTCATF) dans la SNBC-1 (en tenant compte de l'ajustement provisoire en 2018) et s'élevait ensuite à 422 Mt CO_2e/an (hors UTCATF), soit 24 Mt CO_2e de plus. L'effort de réduction est donc abaissé pour cette période. En revanche, pour la période 2024-2028, le nouveau budget (359 Mt CO_2e/an) était similaire à celui de la SNBC-1 (en tenant compte de l'ajustement provisoire en 2018) (357 Mt CO_2e/an). Cela signifie que l'effort supplémentaire de réduction entre les deux périodes intervient plus tard mais doit suivre un rythme

plus rapide dans la SNBC-2 que dans la SNBC-1. Autrement dit, si l'ambition à court terme a été revue, l'ambition de moyen terme (2030) et de long terme (2050) est bien conservée.

Conformément à l'article D. 222-1-B II du Code de l'environnement, un nouvel ajustement technique provisoire des budgets carbone a été réalisé en 2023 pour conserver la même ambition de réduction mais prendre en compte les éventuels changements méthodologiques de l'inventaire. Ainsi, ce sont ces budgets carbone ajustés provisoirement qui sont utilisés ici.

Budgets carbone de la SNBC-2 ajustée (2023)	2e budget 2019-2023	3e budget 2024-2028	4e budget 2029-2033
Transports	129	113	94
Bâtiments	78	61	44
Industrie	75	65	53
Energie	48	36	30
Agriculture	78	72	67
Déchets	13	11	10
UTCATF	-41	-41	-44
Total hors UTCATF	420	357	299
Total avec UTCATF	379	317	255

Dans le cadre de ce rapport Secten, les budgets ont été ajustés en utilisant les dernières données d'inventaires.[22]

Programmation pluriannuelle de l'énergie

Prévue par la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (loi n°2015-992, article 176), la Programmation pluriannuelle de l'énergie est un outil de planification et de pilotage de la politique énergétique nationale. La PPE définit les priorités d'actions des pouvoirs publics afin d'atteindre les objectifs nationaux en matière de climat-énergie, sachant qu'elle met en place, pour le secteur de l'énergie, les mesures opérationnelles visant à inscrire la France dans une trajectoire qui devrait lui permettre d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Visant toutes les énergies, la PPE couvre deux périodes successives de cinq ans. La PPE doit être
La PPE-2 a fixé plusieurs objectifs spécifiques par filière énergétique, dont :

compatible avec les objectifs de réduction des émissions de GES fixés dans le budget carbone national, ainsi qu'avec la SNBC. Elles se fondent ainsi sur le même scénario énergétique.

La 2e programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE-2), portant sur la période 2019-2028, a été formellement adoptée par le décret n°2020-456 du 21 avril 2020. Ce décret a fixé également les objectifs stratégiques dans le domaine de l'énergie.

[22] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten 2025).

Consommation *finale* d'énergie	Baisse de 7,6% en 2023 et de 16,5% en 2028 par rapport à 2012. *Soit -6,3% en 2023 et -15,4% en 2028 par rapport à 2018*
Consommation *primaire* des énergies fossiles	Baisse de 20% de la consommation primaire d'énergies fossiles en 2023 et de 35% en 2028 par rapport à 2012 - gaz naturel : -10% en 2023 et -22% en 2028, - pétrole : -19% en 2023 et -34% en 2028, - charbon : -66% en 2023 et -80% en 2028
Émissions de CO_2 issues de la combustion d'énergie	- 277 Mt CO_2 en 2023 - 227 Mt CO_2 en 2028 Soit -14% en 2023 et -30% en 2028 par rapport à *2016* (322 Mt CO_2) Soit -27% en 2023 et -40% en 2028 par rapport à *1990*
Consommation de chaleur renouvelable	Consommation de 196 TWh en 2023 Entre 218 et 247 TWh en 2028 Soit +25% en 2023 et entre +40 et +60% en 2028 de la consommation de chaleur renouvelable de 2017 (154 TWh)
Capacités de production d'électricité renouvelables installées	73,5 GW en 2023, soit +50% par rapport à 2017 101 à 113 GW en 2028, doublement par rapport à 2017
Capacités de production d'électricité nucléaire	4 à 6 réacteurs nucléaires fermés d'ici 2028 dont ceux de Fessenheim Fermeture de 14 réacteurs nucléaires d'ici 2035, échéance pour ramener la part d'électricité nucléaire dans le mix électrique à 50% par rapport à 75% aujourd'hui
Véhicules électriques	660 000 au 31 déc. 2023 et 3 millions au 31 déc. 2028
Véhicules particuliers hybrides rechargeables	500 000 au 31 déc. 2023 et 1,8 million au 31 déc. 2028
Véhicules utilitaires légers électriques ou hybrides rechargeables	170 000 au 31 déc. 2023 et 500 000 au 31 déc. 2028
Véhicules lourds à faibles émissions	21 000 au 31 déc. 2023 et 65 000 au 31 déc. 2028

Marc Ferracci, ministre chargé de l'Industrie et de l'Énergie, a lancé le 7 mars 2025 la consultation finale du public sur la troisième édition du projet de PPE 3. La nouvelle version de la PPE 3, qui intègre de nouveaux éléments concernant notamment l'électricité, la flexibilité et les projets photovoltaïques, doit fixer des objectifs en matière de production et de consommation d'énergie sur la période 2025-2035 pour mettre la France sur la voie de la neutralité carbone en 2050.

L'ambition portée par la PPE 3 est en effet de *"réussir à créer la bascule et passer d'une énergie carbonée autour de 60 en 2022, à une énergie décarbonée à hauteur d'environ 60 en 2030 et encore davantage en 2035"*. En 2023, la France consommait 58 d'énergie finale fossile, l'objectif était de n'en consommer plus que 42 en 2030 puis 30 en 2035 et, en parallèle, de porter la part des énergies renouvelables de 15 en 2023 à 23 en 2030 puis à 30 en 2035. Conciliant la lutte contre le changement climatique pour atteindre la neutralité carbone, la maîtrise des prix de l'énergie, et la préservation de la sécurité d'approvisionnement énergétique, la PPE doit***« concrétiser l'action du Gouvernement pour transformer notre système énergétique et doter la France d'une énergie décarbonée, compétitive et souveraine ».***

La fin de la consultation publique était prévue initialement le 5 avril 2025. L'adoption de la PPE par décret a finalement été reportée à la fin de l'été 2025, une partie des Parlementaires ayant exigé la tenue d'un débat. Des divergences sont notamment apparues sur la part respective accordée à l'énergie nucléaire et aux énergies renouvelables.

Politiques sectorielles et autres plans

Loi d'orientation des mobilités

La loi d'orientation des mobilités, dite LOM (loi n° 2019-1428 du 24 décembre 2019) a été publiée au JO le 26 décembre 2019. Ce texte vise à réformer en profondeur le cadre général des politiques publiques de mobilités en France pour améliorer concrètement la mobilité au quotidien, de tous les citoyens et dans tous les territoires, grâce à des solutions de transports plus efficaces, moins émettrices et plus accessibles. Les quatre objectifs concrets de la LOM sont :

- apporter à tous et sur 100 du territoire des solutions alternatives à la dépendance à l'usage individuel de la voiture,
- développer l'innovation et les nouvelles solutions de mobilité,
- réduire l'empreinte environnementale des transports,
- investir davantage dans les infrastructures qui améliorent les transports du quotidien (hausse de 40% des investissements) notamment pour renforcer l'offre de transports en commun moins émetteurs.

Parmi les mesures phares prévues par la LOM :

- la mise en place de zones à faibles émissions (ZFE *voir section pollution de l'air – au niveau français*),
- la remise en état des réseaux ferroviaire et routier,
- un forfait mobilités durables, jusqu'à 400 €/an, pour aller au travail en vélo ou en covoiturage,
- un plan pour développer le covoiturage,
- un plan vélo pour tripler sa part dans les déplacements d'ici 2024, en la faisant passer de 2,7% aujourd'hui à 9% en 2024 (plan présenté le 14 septembre 2018),
- l'objectif de multiplier par 5 d'ici 2022 des points de recharge publics pour les véhicules électriques,
- l'obligation, d'ici 2025, de prééquiper de bornes de recharge électrique dans tous les parkings de plus de 10 places neufs ou rénovés,
- l'obligation, d'ici 2025, d'équiper tous les parkings de plus de 20 places des bâtiments non résidentiels (bâtiments tertiaires donc).

Le projet de loi initial était issu des travaux menés dans le cadre des Assises nationales de la mobilité qui se sont déroulées du 19 septembre au 13 décembre 2017. Cette concertation sur les grandes orientations et les priorités d'investissement dans les transports avait pour objectif d'identifier les besoins et les attentes des citoyens dans leurs déplacements. Élus, associations professionnelles et syndicales, ONG, entreprises et grand public y ont participé. L'environnement était un des six thèmes, et tout particulièrement les mobilités plus propres pour réduire l'empreinte environnementale des déplacements, encourager la conversion des véhicules les plus émetteurs et l'achat de véhicules plus propres.

Plan de relance, feuilles de routes sectorielles de décarbonation

Le plan de relance

Le 3 septembre 2020, le Gouvernement a annoncé un plan de relance exceptionnel pour faire face aux conséquences économiques et sociales de la crise sanitaire du Covid-19. Baptisé « France relance », ce plan s'élevait à 100 milliards d'euros (à comparer à 26 milliards pour le plan de relance de 2008 qui a fait suite à la crise financière) et était financé à 40% par l'UE.

Sur les 100 milliards du plan, 30 milliards sont dédiés à la transition écologique, et visaient *en particulier :*

Bâtiments résidentiels et tertiaires

- la **rénovation énergétique des bâtiments** publics (4 milliards) et privés (2 milliards, via un élargissement de la prime MaPrimeRenov' destinée aux ménages dès 2021) ;
- la **lutte contre l'étalement urbain** via des aides aux collectivités délivrant des permis de construire optimisant le foncier (densification) ou recyclant des friches.

Transports

- une enveloppe totale de 11 milliards d'euros ;
- le **ferroviaire** : 4,7 Md€ (redéveloppement du fret, des petites lignes et des trains de nuit) et les transports du quotidien (plan vélo, transports en commun) ;
- le soutien à la recherche pour le développement d'**avions à hydrogène** ;

- la **conversion des véhicules** les plus émetteurs ; l'installation de bornes électriques (pour atteindre 100 000 bornes fin 2021) ; la création de voies réservées au covoiturage ;
- le **transport fluvial** (375 M€ : rénovation de canaux et ports, électrification à quai).

Energie et Industrie

- le développement de **l'hydrogène "vert"** (2 Md€) ;
- le soutien à la **décarbonation des industries** (1,2 Md€) ;
- le soutien à la **filière nucléaire** via le plan, le programme d'investissements d'avenir (PIA) et un co-investissement d'EDF et de l'État (470 M€ au total) ;
- le renforcement des infrastructures des **réseaux électriques** (50 M€).

Déchets et économie circulaire

- le renforcement du fonds É**conomie circulaire** de l'Ademe (226 M€ supplémentaires sur trois ans) ;
- la modernisation **des centres de tri, de recyclage et de valorisation des déchets** (274 M€) ;
- la modernisation des stations d'épuration et des réseaux d'eau (300 M€).

Agriculture

- la modernisation de la filière animale, la sécurité sanitaire et le bien-être animal (250 M€) ;
- la mise en œuvre de la **stratégie nationale sur les protéines végétales** (100 M€) ;
- la modernisation des équipements agricoles (250 M€).

Forêt et biodiversité

- l'adaptation des **forêts aux changements climatiques** (200 M€) ;
- la restauration écologique (135 M€), les aires protégées (60 M€), la protection du littoral (40 M€) et le renforcement des barrages (15 M€).

Le 15 décembre 2020, le Haut Conseil pour le Climat (HCC) a publié un rapport, intitulé « France Relance : quelle contribution à la transition bas-carbone ? » qui évaluait les mesures du plan de relance au regard des objectifs climat nationaux, en particulier la trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) fixée par la SNBC vers la neutralité carbone en 2050.

Le HCC concluait notamment :

- sur les 100 Md€ du plan de relance, 28 Md € sont favorables à la réduction des émissions de GES (contre 30 Md€ d'après le Gouvernement) ;
- 2,1 Md € (6 mesures) auraient un effet ambigu ;
- l'effort de verdissement, s'il est mis en œuvre, contribuerait significativement à réorienter la trajectoire vers la neutralité carbone ;
- le plan de relance couvrait 60% des orientations sectorielles et transversales définies par la SNBC, surtout pour les aspects de décarbonation et d'efficacité énergétique, et surtout dans les secteurs des transports et des bâtiments résidentiels et tertiaires ;
- le plan de relance n'abordait pas de mesures de sobriété énergétique et traitait peu des questions d'emploi, de formation à la transition bas-carbone, de l'agriculture et des forêts (puits de carbone).

La décarbonation de l'industrie

Dans le cadre du plan de relance (*voir plus haut*) et en application de l'article 301 de la loi Climat et Résilience (loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 – *voir plus loin*), des feuilles de route de décarbonation, pour chaque secteur fortement émetteur de gaz à effet de serre, devaient être élaborées avant le 1er janvier 2023. En associant les représentants des filières économiques, le Gouvernement et les représentants des collectivités territoriales pour les secteurs dans lesquels ils exercent une compétence, ces feuilles de route définissent les actions mises en œuvre par chacune des parties pour atteindre les objectifs de baisse des émissions de gaz à effet de serre fixés par la SNBC et doivent donc permettre de décliner les objectifs généraux de la SNBC-2 fixés par grand secteur.

Les feuilles de route sont élaborées via la même démarche afin d'impliquer les filières économiques dans la planification écologique et la mise en œuvre de la future SNBC-3 :

- en amont de l'élaboration de la SNBC-3, il a été demandé à chaque filière d'élaborer une proposition de feuille de route de décarbonation qui recense les leviers de décarbonation qu'elle privilégie, les freins à lever, les actions qu'elle se propose de mettre en place et les propositions d'évolution des politiques publiques qu'elle adresse aux pouvoirs publics pour accompagner cette transition ;

- les propositions de feuille de route devaient être remises au Gouvernement en 2023. Elles venaient alimenter les décisions qui seront prises dans le cadre de la planification écologique et dont les premières orientations ont été annoncées par la Première ministre le 22 mai 2023 (et notamment la répartition des objectifs de baisse des émissions de GES entre secteurs) ;
- un travail d'alignement de ces propositions de feuilles de route avec les orientations de la planification écologique devait être effectué lorsque ces dernières auront été précisées. Ce travail devait permettre aux pouvoirs publics et aux filières de partager une même trajectoire de transition et de prendre des engagements réciproques sur les moyens à mettre en œuvre par chaque partie prenante pour la déployer.

Au titre de l'article 301 de la loi Climat et Résilience, au moins tous les trois ans, le Gouvernement doit rendre compte de l'avancée de ces travaux au Parlement, après l'avis du Haut Conseil pour le climat.

Les premières feuilles de route ont été publiées pour différentes filières du secteur de l'industrie : la première sur la filière chimie (le 7 mai 2021), la deuxième sur la filière ciment (le 19 mai 2021), la troisième sur la filière mines et métallurgie (le 20 mai 2021), le quatrième sur la filière papier-carton (le 9 mars 2022).

D'après le MTE, au total, ce sont près de 80% des émissions industrielles françaises de GES qui font désormais l'objet d'une stratégie détaillée de diminution de leur empreinte carbone.

La feuille de route sur la filière chimie a été élaborée grâce à la collaboration du comité stratégique de filière Chimie-Matériaux et des services de l'État. Les feuilles de route ciment et mines et métallurgie découlent des travaux du Conseil national de l'Industrie, de l'État et de la filière autour de la décarbonation de l'industrie. L'objectif de ces feuilles de route est de rendre chaque filière compatible avec l'objectif général de la SNBC-2, et notamment à l'horizon 2030. Pour l'horizon 2050, et un prisme d'analyse plus large, d'autres travaux sont en cours impliquant l'Ademe et la filière, pour co-construire des trajectoires de décarbonation ambitieuses.

Feuille de route décarbonation de la filière chimie

Elle prévoit une réduction de ses émissions de 26 en 2030 par rapport à 2015, soit -5,7 Mt CO_2 (c'est-à-dire un niveau plus faible que le niveau moyen prévu pour l'ensemble de l'industrie manufacturière et construction par la SNBC-2 à la même échéance, de -35%). Cette réduction d'émissions serait atteinte via plusieurs leviers :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique (-1,8 $MtCO_2e$),
- la production de chaleur bas-carbone (-2,2 $MtCO_2e$), avec la combustion de combustibles solides de récupération (CSR) et de biomasse,
- la réduction des émissions de N_2O (-0,8 $MtCO_2e$) et de HFC (-0,9 $MtCO_2e$).

Feuille de route décarbonation de la filière ciment

Elle prévoit une diminution des émissions de GES de la filière ciment de 24% en 2030, puis de 80% en 2050 par rapport à 2015. Cela s'inscrit dans le cadre de la trajectoire de réduction prévue par la SNBC-2 pour le sous-secteur de production de minéraux non métalliques dans son ensemble, visant -24% en 2030 et -85% en 2050, par rapport à 2015.

Cette réduction d'émissions serait atteinte via plusieurs leviers :

- amélioration de l'efficacité énergétique sur les procédés (-0,33 Mt CO_2e en 2030) ;
- remplacement des combustibles fossiles par des combustibles alternatifs (-0,86 Mt CO_2e en 2030) ;
- augmentation de la part de la part de biomasse (déchets biosourcés) dans les combustibles (-0,20 Mt CO_2e en 2030) ;
- diminution de la teneur en clinker des ciments (-1,1 Mt CO_2e en 2030) ;
- développement de ciments alternatifs ;
- captage, utilisation et stockage de carbone (levier utilisé après 2030, il permet à lui seul de réduire de 47% le bilan de production d'une tonne de ciment entre 2015 et 2050 ; et une réduction d'émissions de -5 Mt CO_2e en 2050) ;
- recyclage du béton, dans une logique d'économie circulaire (notamment dans le cadre du comité stratégique de filière Industries pour la Construction).

Feuille de route décarbonation de la filière mines et métallurgie

Elle vise en particulier les secteurs de la sidérurgie intégrée et de l'aluminium, et les activités de métallurgie.

Pour la sidérurgie intégrée, un objectif de réduction des émissions de GES de 31% entre 2015 et 2030 (soit -7,4 $MtCO_2e$) est fixé, via différents leviers :

- l'augmentation du taux de recyclage d'acier circulaire ;
- la réduction de l'utilisation de charbon dans le haut fourneau ;
- la capture et le stockage du carbone issu des hauts-fourneaux ;
- la pré-réduction du minerai de fer par utilisation de l'hydrogène remplacement des combustibles fossiles par des combustibles alternatifs (-0,86 Mt CO_2e en 2030).

Pour l'aluminium, dont la production est déjà fortement décarbonée par l'usage d'électricité (elle-même décarbonée par le recours au nucléaire et aux renouvelables), la feuille de route prévoit entre 5% et 9% de réduction des émissions supplémentaires entre 2015 et 2030 (soit -55 à -105 ktCO_2e), via les leviers suivants :

- la réduction des émissions de procédés liées à la fabrication d'aluminium primaire par des moyens incrémentaux (transformation et recyclage de l'aluminium) ;
- au-delà de 2030, via l'innovation et le développement de technologies de rupture.

Par ailleurs, le 4 février 2022, le comité stratégique de filière « Mines & Métallurgie » a présenté un « Plan Acier », élaboré avec les services de l'État, identifiant les actions à mener en partenariat entre les industriels et les pouvoirs publics pour répondre aux enjeux climatiques, environnementaux, mais aussi économiques et sociaux du secteur de la sidérurgie.

Feuille de route décarbonation de la filière papier-carton

Elle fixe un nouvel objectif pour ce secteur d'une réduction de 39% entre 2015 et 2030, tout en augmentant sa capacité de production de près de 5 sur la même période. Les leviers de décarbonation identifiés sont :

- l'efficacité énergétique (récupération de chaleur fatale, autoconsommation de biogaz),
- la production de chaleur bas-carbone (biomasse et combustibles solides de récupération).

La décarbonation des autres secteurs

Dans le cadre de l'art. 301 de la loi Climat et Résilience, des représentants des principales filières économiques et des collectivités territoriales ont été réunis le 19 février 2022 par le commissaire général au développement durable, le directeur général de l'Énergie et du Climat, et le directeur général des Entreprises pour lancer les travaux de concertation sur l'élaboration des prochaines feuilles de route de décarbonation qui viseront les autres secteurs : **transports, bâtiment, agriculture, déchets**. Elles devront identifier les leviers de décarbonation et les freins éventuels à surmonter pour respecter les objectifs fixés par la SNBC. Elles permettront par ailleurs d'alimenter l'élaboration de la future Stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC), intégrant la mise à jour de la SNBC, et les politiques d'accompagnement et de soutien qui seront mises en place.

Ainsi, en 2023, plusieurs propositions de feuille de route de décarbonation de ces autres secteurs ont été remises aux pouvoirs publics pour alimenter les chantiers de la planification écologique sur

- **la décarbonation de la filière de l'aménagement du territoire** : toutes les actions ou opérations visant à réaliser un projet urbain, une politique de l'habitat, d'organiser l'accueil des activités économiques, de favoriser le développement du tourisme et réaliser des équipements collectifs ou sauvegarder le patrimoine et les espaces naturels),
- la décarbonation de la **filière bâtiment,**
- la décarbonation de la **filière de l'automobile,**
- la décarbonation de la **chaîne de valeur des véhicules lourds,**
- la décarbonation de la **filière maritime**
- la décarbonation de **l'aérien.**

Le 23 mai 2023, les représentants des secteurs de l'aménagement, du bâtiment, de l'automobile et des véhicules lourds ont été reçus par les ministres de la Transition écologique, de la Transition énergétique, des Transports, ainsi que de la Ville et du Logement pour présenter les principaux leviers de décarbonation identifiés par ces filières.

La décarbonation des 50 sites industriels les plus émetteurs

Le 8 novembre 2022, le président de la République a réuni à l'Élysée les dirigeants des 50 sites industriels les plus émetteurs de GES en France et les représentants des quatre filières les plus émettrices (chimie, métallurgie [sidérurgie et aluminium], matériaux de construction et minéraux non-métalliques, dont le ciment) pour donner une nouvelle impulsion à la décarbonation du secteur de l'industrie manufacturière qui générait 18% des émissions nationales totales de gaz à effet de serre (GES hors UTCATF) en France en 2022. Quant à ces 50 sites, ils représentaient 12% des émissions nationales totales de GES et 55% des émissions totales de GES du secteur de l'industrie manufacturière en France. Les

quatre filières, elles, pèsent 80% des émissions totales de ce secteur.

Á cette occasion, le président a proposé une stratégie collective de décarbonation pour le secteur industriel et ce, afin de réaliser des réductions d'émissions de GES conformément aux engagements et objectifs Climat nationaux. Une enveloppe de 5 milliards (Md) € a été fléchée dans le cadre de France 2030 pour soutenir les efforts de décarbonation du secteur industriel (notamment via le déploiement de l'hydrogène, le captage et stockage du CO_2 et la biomasse). Ce soutien financier de l'État visait à permettre la réduction de 10 Mt CO_2 d'ici 2030.

Il a ensuite proposé une sorte de pacte de décarbonation aux dirigeants présents : s'ils parviennent à doubler leurs efforts de réduction (soit de parvenir à une réduction de 20 Mt CO_2 d'ici 2030), le Gouvernement doublera les moyens consacrés à cet enjeu, en faisant passer l'enveloppe de 5 à 10 Md€ d'ici 2030. **L**a prochaine étape était la signature pour chacun des sites, dans un délai de six mois, d'un **contrat de transition écologique** précisant le calendrier et les modalités de réduction de leurs émissions de GES. Ce contrat devait préciser les choix des technologies retenues, les investissements prévus, les aides mises en place par le Gouvernement. Un travail piloté par les ministres de l'Industrie et de l'Énergie.

Les modalités de suivi de cette stratégie collective de décarbonation prévoyaient une deuxième réunion avec les industriels concernés en mai 2023 et une troisième en novembre 2023 visant à actualiser la stratégie. Une clause de revoyure à 18 mois était également prévue pour déterminer comment accroître ces mécanismes d'accompagnement public.

De janvier à juin 2023, dans le cadre de ces travaux de planification écologique, les 50 sites industriels visés ont élaboré chacun leur stratégie de décarbonation sous forme de contrats de transition écologique fixant notamment des objectifs individuels de réduction et identifiant les projets d'investissements nécessaires. Ces contrats de transition écologique ont été signés, puis présentés par le Gouvernement le 22 novembre 2023. En cumulant les objectifs fixés par les 50 sites dans leurs contrats de transition écologique, il est possible de tracer une trajectoire d'évolution de leur décarbonation en termes d'émissions de GES. Ainsi, selon le ministère de la Transition écologique, on obtient, en 2030, dans le scénario ambitieux, une réduction des émissions de GES de 45%, soit 22 Mt CO_2e d'émissions en moins chaque année. Ces contrats de transition écologique ont été publiés par le ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle le 13 décembre 2023.

Nouvel appel d'offres pour la décarbonation de l'industrie

En automne 2023, fort de sa nouvelle stratégie nationale de développement des solutions de capture et stockage de dioxyde de carbone (CCS), l'État français avait demandé à la Commission européenne de lui donner son feu vert pour soutenir financièrement de telles solutions. Le 18 décembre 2024, **un nouvel appel d'offres, baptisé « Grands Projets industriels de décarbonation » (GPID), a été autorisé par la Commission européenne. Son enveloppe totale, de 3 milliards d'euros, est gérée par le secrétariat général à l'investissement à travers le plan France 2030.** Les subventions octroyées permettent de couvrir les surcoûts des grands projets de décarbonation profonde, qui sont vertueux mais non rentables à court et moyen terme. La sélection consiste en une mise en concurrence des projets via un mécanisme d'enchères fondé notamment sur l'efficacité de l'aide publique pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Ce faisant, la France concrétise son ambition en matière de capture et stockage de dioxyde de carbone (CCS). Entre le 31 décembre et jusqu'au 15 mai 2025, plusieurs projets de décarbonation pouvaient entrer en concurrence pour briguer une aide de l'État d'un montant égal ou supérieur à 20 millions d'euros sur quinze ans. Le dispositif exclut l'emploi d'énergies renouvelables électriques ou d'énergie nucléaire.

Les entreprises ou groupements d'entreprises éligibles doivent être soumises au système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (SEQE ou ETS) et avoir participé à l'appel à manifestation d'intérêt, lancé entre juin et septembre 2024 pour définir le cahier des charges du nouveau dispositif. Il s'agit, entre autres, de centrales énergétiques et d'industriels énergo-intensifs comme les raffineries, les cimenteries ou les aciéries. Cet appel d'offres est censé compléter d'autres mécanismes de soutien. L'appel à projets « Decarb Ind », à destination de projets similaires mais de moindre envergure, a été renouvelé en décembre 2024.

Vers une stratégie de captage, de stockage et d'utilisation du CO_2

Le 23 juin 2023, la Première ministre a présenté une proposition de stratégie sur le captage, le stockage et l'utilisation du CO_2 (CCUS en anglais), lançant ainsi une consultation auprès des industriels sur le sujet. Cette future stratégie, une fois finalisée, est destinée à être intégrée à la planification écologique. Cette consultation présentait les grandes orientations

envisagées sur les différentes composantes de la future stratégie :

- u**ne trajectoire de déploiement CCUS**, en termes de calendrier de mise en œuvre et de volumes d'émissions de CO_2 captées, reposant sur une priorisation par grandes zones industrielles : d'abord les grands ports industriels de Dunkerque, Le Havre et Fos-sur-Mer, puis Lacq/Sud-Ouest et Loire-Estuaire, et enfin Grand-Est ;

- u**n régime de soutien via des Contrats pour Différence (CCfD)** octroyés par appel d'offres pour soutenir les projets de décarbonation de l'industrie, notamment au service des projets de capture et de séquestration du carbone identifiés via l'exercice des 50 sites les plus émetteurs de CO_2 ;

- u**n cadre pour les infrastructures de transport de CO_2** : celles-ci auront vocation à opérer dans un cadre régulé par la Commission de régulation de l'Énergie (CRE). Selon le Gouvernement, un partage du risque semble nécessaire entre l'État, les exploitants d'infrastructures de transport du CO_2 et leurs utilisateurs industriels ; différents dispositifs doivent donc être mis en œuvre, notamment la possibilité pour l'État d'apporter une forme de garantie aux futurs gestionnaires d'infrastructures sur les risques de volume ;

- u**ne diversification des possibilités de stockage de CO_2** : le développement des capacités de stockage de CO_2 en France sera clé pour assurer la souveraineté et la compétitivité du captage du CO_2 sur l'industrie française : le Gouvernement lancera avant fin 2023 un appel d'offres pour des campagnes d'exploration géophysique et des tests d'injection de CO_2 dans des sites pilotes, avec de premiers tests en 2024/2025. Ces capacités de stockage pourraient en particulier se situer dans d'anciennes zones d'exploitation d'hydrocarbures. Le Gouvernement facilitera également l'appropriation de la filière CCUS par le lancement d'une campagne d'information et d'échanges pour faciliter l'acceptabilité locale ;

- l**a possibilité de valorisation du CO_2**, alternativement à son stockage, qui peut constituer un levier de décarbonation des secteurs de l'aviation et du maritime notamment.

Concrètement, les participants devaient répondre à cinq questions :

- la trajectoire de déploiement de CCUS présentée répond-elle aux besoins, en termes de répartition géographique et de calendrier ?

- comment calibrer un mécanisme de CCfD pour répondre aux enjeux de décarbonation de l'industrie, et en particulier de déploiement de CCUS ?

- comment soutenir le développement des infrastructures de transport du carbone capté avec un partage équilibré du risque entre l'État, les exploitants de l'infrastructure et les industriels ?

- à quelles conditions le déploiement de stockage de CO_2 sur le territoire national vous semble-t-il pouvoir être envisagé ?

- quelle place donner à la valorisation du CO_2 selon vous ? Quels usages prioriser pour le CO_2 ?

Le Haut Conseil pour le Climat (HCC) a publié le 30 novembre 2023 un avis sur la stratégie de captage, d'utilisation et de stockage du CO_2 (CCUS) de la France. Dans son avis, le HCC souligne notamment que le potentiel de séquestration de carbone à l'aide de ces technologies est réel en France mais limité et ne peut être pris en compte qu'en appui aux secteurs ne disposant pas d'alternatives, pour éliminer leurs émissions résiduelles.

La loi Climat et Résilience

La Convention citoyenne pour le climat

Lors de son discours le 25 avril 2019 annonçant les mesures adoptées par le Gouvernement suite au grand débat (organisé en réponse à la crise des gilets jaunes), le président de la République avait annoncé la mise en œuvre d'un changement de méthode pour accélérer la transition écologique, dont la création d'un Conseil de défense écologique et d'une Convention citoyenne pour le climat (CCC).

Cette méthode de travail constituait une première, très débattue, en France. Les démarches similaires dans le monde sont rares : on peut citer l'Irlande (via des assemblées citoyennes). L'enjeu de cette démarche politique était immense puisque cette assemblée citoyenne aurait pu apporter des modifications à la Constitution, en supplément du Sénat et de l'Assemblée nationale.

La CCC a été chargée de redessiner toutes les mesures concrètes d'aides aux citoyens sur la transition climatique dans le domaine des transports, de la rénovation des logements [isolation et chauffage]

pour les rendre plus efficaces, de définir des mesures complémentaires [incitatives ou contraignantes], ainsi que leur financement.

Au terme de ses travaux, la Convention devait adresser au président de la République et au Gouvernement un rapport de synthèse de ses discussions et de ses propositions de mesures législatives et réglementaires jugées nécessaires pour atteindre les objectifs climat-énergie de la France. Parmi les mesures législatives, elle était habilitée à sélectionner celles à soumettre à un référendum. Le Gouvernement devait ensuite répondre publiquement à ces propositions et publier un calendrier prévisionnel de leur mise en œuvre.

Le 29 juin 2020, le président de la République a reçu les 150 membres de la CCC pour apporter ses réponses à leurs propositions. Bien qu'il se fût engagé, le 25 avril 2019, ainsi que le 10 janvier 2020, à reprendre *« sans filtre »* les propositions de la CCC, lors de son discours devant la CCC, il a néanmoins indiqué qu'il écartait d'emblée trois « jokers » (la taxe de 4% sur les dividendes des grandes entreprises, la modification du préambule de la Constitution pour y intégrer l'exigence de préservation de l'environnement, et la réduction à 110 km/h de la vitesse maximale sur autoroute).

Lors de ce discours, il a indiqué plusieurs suites possibles à ces propositions :

- certaines propositions devaient être affinées, modifiées (par exemple pour l'introduction du crime d'écocide) ;
- les propositions bien abouties et relevant de la politique nationale devaient être transmises à l'Assemblée nationale pour examen parlementaire et pour les transformer en propositions législatives ;
- les propositions relevant du champ d'action européen devaient faire l'objet de discussions au sein des instances européennes et auprès des partenaires privilégiés ;
- les propositions relevant du champ d'action international devaient faire l'objet d'actions diplomatiques et de discussions au sein des instances internationales ;
- les propositions qui resteraient bloquées, par exemple à l'étape parlementaire, pourraient finalement faire l'objet d'un référendum, en 2021, pour que la population tranche sur certains points.

Certaines des 146 propositions, en particulier toutes celles qui relèvent du champ réglementaire, allaient être abordées lors d'un Conseil de défense écologique en juillet 2020. D'autres allaient être intégrées au plan de relance économique, écologique et social et devaient être soumises au Parlement avant la fin de l'été 2020. Ensuite un projet de loi spécifique devait être présenté à la fin de l'été 2020. Il devait intégrer l'ensemble des propositions de mesures relevant du champ législatif après leur finalisation.

La huitième et dernière session de travail de la CCC s'est tenue en visio-conférence du 26 au 28 février 2021. L'objectif de cette session était de produire un avis sur les réponses apportées par le Gouvernement à ses propositions, et notamment le projet de loi Climat et Résilience qui reprenait partiellement une série des propositions de la CCC.

La CCC a définitivement terminé ses travaux à la clôture de cette 8e et ultime session. L'association des 150, fondée par les membres de la CCC pour poursuivre leur engagement sur le sujet, pourra continuer à suivre le devenir des propositions. Le projet de loi Climat et Résilience est la traduction principale de cette initiative.

Loi Climat et Résilience

Les 7 et 8 décembre 2020 se sont tenues cinq réunions thématiques du groupe de travail entre les membres de la Convention Citoyenne pour le Climat (CCC – *voir plus haut*) et les parlementaires, et présidées par les ministres en charge des différentes thématiques abordées par les propositions de la CCC (se loger ; se déplacer ; consommer ; se nourrir ; produire et travailler). Ces réunions visaient à préparer le projet de loi du Gouvernement issu des propositions de la CCC.

Le Gouvernement a indiqué que sur les 146 propositions de la CCC préalablement retenues, 40% seraient reprises dans le projet de loi. Néanmoins, des membres de la CCC ont fait observer qu'il ne s'agissait pas d'une reprise *« sans filtre »* des propositions auprès des parlementaires, mais de versions souvent remaniées atténuant la portée des recommandations initiales.

Le 10 février 2021, le projet de loi *« portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets »* (dit aussi « Climat et Résilience ») a été présenté en Conseil des ministres. Le projet de loi Climat et Résilience s'inscrit directement dans la suite des propositions de la CCC : Comme l'indique l'exposé des motifs, il « *traduit les*

dispositions de nature législative recommandées par la Convention Citoyenne ».

Le projet de loi (69 articles) était organisé selon les cinq mêmes grandes thématiques que les propositions de la CCC, complétées par un volet *« renforcer la protection judiciaire de l'environnement »* (renforcement des sanctions pour mise en danger de l'environnement grave et durable, création d'un délit général de pollution des eaux et de l'air…).

D'après le décompte du Gouvernement, sur les 149 propositions initiales :

- 3 propositions ont été écartées d'emblée par le président de la République ;
- 40% des propositions seraient traduites :
    - dans le projet de loi « Climat et Résilience »,
    - dans le projet de loi « Parquet européen » de décembre 2019,
    - dans la réforme de l'article 1er de la Constitution qui fait l'objet d'un projet de loi constitutionnelle, présenté au Conseil d'État, et en Conseil des ministres le 20 janvier 2021. Le Conseil d'État a rendu un avis négatif sur ce projet de loi ;
- 20 des propositions, de nature fiscale et budgétaire, seraient traduites dans la loi de finances 2021, et notamment à travers le plan de relance *France Relance* ;
- moins de 10 des propositions, de nature réglementaire, devraient être traduites sous forme de décrets et d'arrêtés (ex : interdiction des terrasses chauffées ; interdiction de l'installation de chaudières au fioul, mesures anti-gaspillage, etc.) ;
- plus de 5 des propositions relèveraient des négociations européennes et internationales ;
- 25 ne relèveraient pas directement d'une traduction dans la loi, la réglementation ou les accords internationaux, mais relèveraient de plans d'actions nationaux (biodiversité…), ou directement des agences de l'État comme l'Ademe (campagnes de sensibilisation…), de l'action des préfets (moratoire sur les nouvelles zones commerciales périurbaines…).

Le Gouvernement a engagé la procédure accélérée sur ce projet de loi le 10 février 2021. Après trois semaines de délibérations, le 4 mai 2021, l'Assemblée nationale a adopté en première lecture, le projet de loi Climat et Résilience. Sur les 12 719 amendements qui avaient été préalablement déposés, 999 ont été adoptés.

Le texte du projet de loi adopté par l'Assemblée nationale a ensuite été soumis au Sénat pour examen du 14 au 28 juin 2021. Celui-ci a adopté le projet de loi le 29 juin 2021. Le MTE a exprimé son regret que les sénateurs aient choisi de revenir sur certaines avancées importantes votées par l'Assemblée nationale.

Une commission mixte paritaire (CMP), s'est tenue et a conclu à un texte de compromis dans la nuit du 12 au 13 juillet 2021. Le 20 juillet 2021, après de nouvelles discussions, l'Assemblée nationale a adopté le texte final de la loi, laquelle a été promulguée le 22 août 2021 (et publiée dans le Journal Officiel du 24 août 2021) sous l'intitulé loi n°2021-1104 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets.

La loi comporte huit titres :

- Titre Ier : atteindre les objectifs de l'Accord de Paris et du Pacte vert pour l'Europe (article 1er),
- Titre II : Consommer (articles 2 à 29),
- Titre III : Produire et travailler (articles 30 à 102),
- Titre IV : Se déplacer (articles 103 à 147),
- Titre V : Se loger (articles 148 à 251),
- Titre VI : Se nourrir (articles 252 à 278),
- Titre VII : Renforcer la protection judiciaire de l'environnement (articles 279 à 297),
- Titre VIII : Dispositions relatives à l'évaluation climatique et environnementale (articles 298 à 305).

Le Titre Ier rappelle les engagements climatiques européens et internationaux de la France.

Le Titre II prévoit des mesures portant sur l'éducation à l'environnement, la publicité, l'affichage environnemental et l'économie circulaire afin d'orienter les Français dans leurs choix de consommation. **En particulier, l'article 4 interdit la publicité sur les énergies fossiles.**

Le Titre III prévoit notamment des mesures pour rendre les investissements publics (commandes publiques) plus verts, impliquer les citoyens et les territoires dans le développement des énergies renouvelables, et décliner la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) au niveau régional via des objectifs régionaux de

développement des énergies renouvelables. Il établit également l'obligation de mettre en place des installations photovoltaïques ou des toits végétalisés lors de la construction, l'extension ou de la rénovation lourde de tous les bâtiments à usage commercial, industriel ou artisanal de plus de 500 m^2, et de plus de 1 000 m^2 pour des immeubles de bureau.

Le Titre IV vise à rendre moins émetteurs de GES et de polluants les moyens de transport (transports collectifs, voiture, transport aérien), en promouvant les alternatives à la voiture individuelle et la transition vers un parc de véhicules moins émetteurs. Entre autres :

- il fixe l'objectif de mettre fin à la vente des voitures émettant plus de 95 g CO_2/km en 2030,
- pour encourager l'usage du vélo, il prévoit l'élargissement de la prime à la conversion aux personnes souhaitant remplacer un vieux véhicule émetteur par un vélo à assistance électrique, y compris les vélos-cargos,
- il prévoit la facilitation du déploiement des bornes de recharge des véhicules électriques dans les copropriétés, leur amplification sur les voies express et autoroutes avec la prise en charge des coûts de raccordement à 75% jusqu'en 2025 (prolongement de quatre ans d'une mesure déjà prévue par la loi d'orientation des mobilités),
- il prévoit l'accélération du déploiement des bornes de recharge ouvertes au public en établissant l'obligation pour les parkings publics de s'en équiper,
- **il fixe un objectif de fin de vente des poids lourds à moteur thermique d'ici 2040, donnant ainsi pour la première fois une perspective quant à la fin de leur commercialisation,**
- il interdit des vols (hors vols majoritairement en correspondance) sur des liaisons intérieures au territoire national si un trajet alternatif en train existe en moins de 2h30,
- **il fixe l'obligation pour tous les opérateurs aériens de compenser leurs émissions de CO_2 des vols intérieurs métropolitains, ainsi que sur une base volontaire pour des vols depuis et vers l'outre-mer. Un calendrier de mise en œuvre progressive de cette obligation est défini : les compagnies aériennes doivent compenser 50% de leurs émissions de CO_2 pour l'année 2022, 70% pour l'année 2023, et 100% dès l'année 2024.**

Le Titre V vise à accélérer la rénovation énergétique à grande échelle des logements et à sortir des millions de ménages de la précarité énergétique. Entre autres :

- il confère une valeur législative aux classes du diagnostic de performance énergétique (DPE), c'est-à-dire les étiquettes énergétiques allant de G à A, et consacre son rôle central dans l'évaluation de la performance d'un logement, en intégrant dans cette évaluation les émissions de gaz à effet de serre, au-delà de la seule consommation énergétique,
- il prévoit l'interdiction pour les propriétaires, à partir de 2023, d'augmenter le loyer des logements considérés comme des passoires énergétiques, c'est-à-dire les logements ayant des étiquettes énergétiques des classes F et G,
- il prévoit l'interdiction progressive de mise en location des passoires énergétiques selon un calendrier de mise en œuvre en 2025 (étiquettes énergétiques G), en 2028 (étiquettes F) et en 2034 (étiquettes E, qui ne sont cependant pas considérées comme des passoires énergétiques). Selon le MTE, cette mesure devra permettre de rénover plus de 4 millions de logements au total d'ici 2034,
- il rend obligatoire dès 2022 les audits énergétiques lors des ventes de maisons ou d'immeubles en monopropriété qui sont considérés comme des passoires énergétiques. Cette obligation sera étendue aux logements classés E à partir de 2025 et à ceux classés D (un tiers du parc) en 2034.

Le Titre VI vise à enclencher un changement significatif dans la manière des Français de se nourrir pour consommer plus local, plus durable et plus sain, soutenir un système agricole plus respectueux de l'environnement par le développement de l'agroécologie et mieux encadrer le commerce équitable. En particulier, il prévoit la définition d'une trajectoire annuelle de réduction des émissions de N_2O et de NH_3 du secteur agricole, avec la possibilité de mettre en place une redevance sur les engrais azotés d'origine minérale si cette trajectoire n'est pas tenue deux années consécutives.

Le Titre VII vise à garantir une meilleure protection judiciaire de l'environnement en renforçant les peines pour qu'elles soient plus dissuasives et en créant un délit d'écocide.

Enfin, en vertu du Titre VIII, chaque année la Cour des Comptes, pour le compte du Parlement, devra évaluer la mise en œuvre de la loi Climat et

Résilience avec l'appui du Haut Conseil pour le Climat et le Gouvernement devra y répondre. Par ailleurs, un rapport sera également annexé à chaque Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) présentant les actions du Gouvernement, des collectivités et des entreprises pour être en conformité avec la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Le Parlement votera sur ce rapport.

Le Titre VIII invite également les collectivités territoriales à créer un observatoire de la transition écologique pour suivre la mise en œuvre des actions de transition menées par les collectivités.

Il prévoit en outre l'adoption et la mise en œuvre de feuilles de route multipartites pour chaque grand secteur émetteur de GES afin de garantir la réalisation des objectifs de la SNBC.

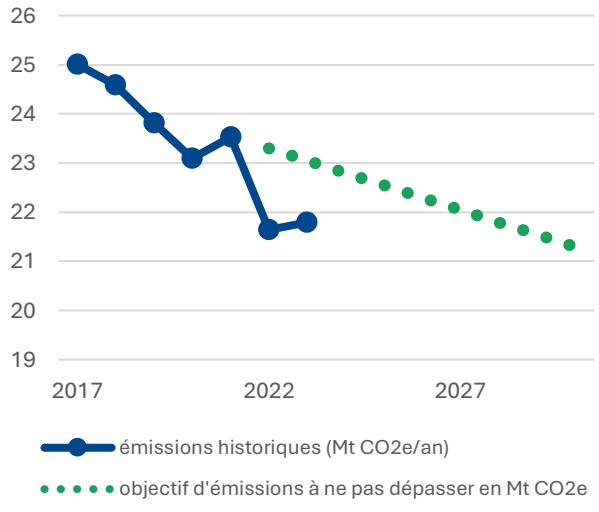
Trajectoires annuelles de réduction des émissions de N_2O

L'article 268-I de la loi Climat et Résilience prévoit la définition, par décret, des trajectoires annuelles de réduction des émissions du protoxyde d'azote (N_2O) du secteur agricole jusqu'en 2030 permettant d'atteindre progressivement l'objectif d'une réduction de 15 des émissions de N_2O en 2030 par rapport à 2015. Le décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 (publié au JO du 27) définit les trajectoires annuelles de réduction des émissions de N_2O du secteur agricole jusqu'en 2030. Cet objectif est celui des budgets carbone prévus par le décret du 21 avril 2020 relatif aux budgets carbone nationaux et à la stratégie nationale bas carbone- SNBC 2 (qui fixe des limites d'émission de gaz à effet de serre pour l'ensemble des secteurs). Les émissions de N_2O, en 2022, étaient dues à 87 au secteur agricole.

Les objectifs annuels de réduction des émissions de N_2O du secteur agricole (hors UTCATF [utilisation des terres, changements d'affection des terres et foresterie]) par rapport à 2015 sont définis dans le tableau suivant, exprimés en pourcentage de réduction par rapport aux émissions de l'année 2015 :

Protoxyde d'azote (N2O)	2015	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
émissions historiques (Mt CO2e/an)	25	21	21							
objectif de réduction en % par rapport à 2015		7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
objectif d'émissions à ne pas dépasser en Mt CO2e		23,0	22,7	22,5	22,3	22,0	21,8	21,5	21,3	21,0

Emissions de N_2O agricoles et objectifs nationaux de réduction. Source : décret n°2022-1654, article 3 et Citepa, rapport Secten éd. 2025.



Emissions de N_2O agricoles et objectifs nationaux de réduction

Ces objectifs ont été définis en cohérence avec la SNBC-2, en cohérence avec l'objectif général de neutralité carbone en 2050.

L'atteinte des objectifs est évaluée à l'aune des données définitives issues des inventaires nationaux d'émissions les plus récents, réalisés par le Citepa pour le ministère chargé de l'Environnement.

L'article 268 de la loi Climat et Résilience prévoit également la présentation au Parlement d'un rapport sur le suivi du plan d'actions national (prévu par l'article L. 255-1-1 du Code rural et de la pêche maritime, en vue de la réduction des émissions de NH_3 et de N_2O liées aux usages d'engrais azotés minéraux) et le suivi du respect de la trajectoire de réduction des émissions de NH_3 et de N_2O du secteur agricole.

Le discours de Belfort du Président de la République

Le 10 février 2022, dans le cadre du plan d'investissement « France 2030 » annoncé en octobre 2021, le président de la République a détaillé, lors d'une visite à Belfort, les grandes orientations qu'il souhaitait donner à la politique énergétique de la France. Cette déclaration s'inscrivait notamment dans le contexte où plusieurs travaux proposaient de dessiner de nouvelles scénarisations des futurs possibles de l'énergie en France, vers l'objectif de neutralité carbone en 2050 : la construction de la

Stratégie française Énergie Climat (SFEC, avec mise à jour de la SNBC et de la PPE) ; les scénarios de l'étude Transitions 2050 de l'Ademe ; et l'étude prospective de RTE sur le mix électrique.

Le président de la République a déclaré à Belfort que la stratégie énergétique française repose sur quatre piliers :

- la sobriété énergétique, c'est-à-dire consommer moins,
- l'efficacité énergétique, c'est-à-dire consommer autrement,
- l'accélération du développement des énergies renouvelables (EnR),
- la relance de la filière nucléaire française.

Intitulé « Reprendre en main notre destin énergétique » le discours du Président s'est inscrit dans l'ambition d'atteindre l'indépendance énergétique et la réindustrialisation de la France. Il s'agit de sortir de la dépendance aux énergies fossiles, via à la fois la réduction de la consommation énergétique de la France et aussi l'augmentation de sa capacité de production d'énergie décarbonée (énergies renouvelables et nucléaire).

Sobriété énergétique

Sur le premier volet, le discours mettait en avant les points suivants :

- la **rénovation énergétique des logements**, via la poursuite du dispositif d'aides « MaPrimeRenov' » devant aboutir en 2050 à une réduction de 40% de la consommation d'énergie dans ces bâtiments ;
- le **renouvellement du parc automobile** via la poursuite des dispositifs de bonus et primes à la conversion ;
- la **décarbonation de l'industrie**, dans le cadre de France 2030, en particulier avec le développement de l'hydrogène ;

Ces points s'inscrivaient ainsi dans la continuité de plans politiques déjà en place.

Produire davantage d'énergie décarbonée

Le second volet, dédié au développement de nouvelles sources d'énergies décarbonées, présentait quant à lui des nouveautés et proposait notamment de s'orienter vers le développement du nucléaire. Le président proposait ainsi :

- le développement massif des énergies renouvelables, en particulier le solaire et l'éolien, via un investissement d'un milliard d'euros dans le cadre de France 2030 pour l'innovation dans ce domaine ;
- le prolongement de la durée de vie de tous les réacteurs nucléaires qui peuvent l'être, au-delà de 50 ans si possible, contrairement à la décision annoncée en novembre 2018, lors de la présentation de la PPE, de fermer 14 réacteurs d'ici 2035 pour ramener la part du nucléaire à 50% de la production d'électricité à cet horizon ;
- le lancement d'un grand programme de nouveaux réacteurs nucléaires : construction de six EPR2 (version optimisée, moins coûteuse d'un réacteur nucléaire EPR [réacteur pressurisé européen]), avec mise en service du premier autour de 2035 ; et lancement d'études pour la construction de huit autres.
- la création d'une direction de programme interministérielle dédiée au nouveau nucléaire – sous responsabilité du Premier ministre.

Ces annonces proposaient des orientations nouvelles par rapport aux orientations inscrites dans la PPE. En particulier, le PPE indiquait que « *s'agissant du nouveau nucléaire, afin de permettre une prise de décision sur le lancement éventuel d'un programme de construction de nouveaux réacteurs, le Gouvernement conduira avec la filière d'ici mi-2021 un programme de travail complet* [...] [incluant notamment] *la démonstration avec la filière française de sa capacité à maîtriser un programme industriel de nouveaux réacteurs* [...], *la formalisation d'un retour d'expérience consolidé de la mise en service des premiers EPR, notamment Flamanville 3* [...]. *Sur la base de ces éléments et selon l'évolution du contexte énergétique, le Gouvernement se prononcera sur l'opportunité de lancer un programme de renouvellement des installations nucléaires* » (*source : PPE, p. 163*).

Une semaine après la déclaration de Belfort, le 18 février 2022, le Gouvernement a publié un rapport sur la faisabilité du nouveau nucléaire, et deux audits du programme proposé par EDF. Concernant le retour d'expérience de Flamanville, sa mise en service ayant été retardée (de 2012 à 2023, son budget étant passé de 3,3 Md € à 12,7 Md €), le nouvel EPR sera réalisé ultérieurement. Par ailleurs, la PPE elle-même est en phase de mise en jour dans le cadre de la SFEC. En revanche, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte de 2015 plafonne (article L. 311-5-5 du Code de l'énergie), la puissance nucléaire installée à 63,2 GW. Modifier ce plafond nécessitera une modification de cette loi.

Publiée au Journal Officiel le 23 juin 2023, la loi dite « Accélération du nucléaire » (loi n° 2023-491 du 22 juin 2023 relative à l'accélération des procédures liées à la construction de nouvelles installations nucléaires à proximité de sites nucléaires existants et au fonctionnement des installations existantes), facilite

les procédures administratives pour accélérer la construction de nouveaux réacteurs de type EPR2 (réacteur pressurisé européen), prévus sur des sites nucléaires existants. Plusieurs mesures traitent aussi de la planification énergétique ou de la prolongation des vieilles centrales. Surtout, la loi supprime l'objectif de réduction à 50% de la part du nucléaire dans le mix électrique à l'horizon 2035 (fixé à l'alinéa 5 de l'article L 100-4). De plus, le plafond de capacité maximale totale, de 63,2 GW, fixé par la loi transition énergétique et codifié dans l'article L.311-5-5 du Code de l'énergie, est lui aussi abrogé.

La planification écologique

Lors d'une réunion de campagne à Marseille le 21 avril 2022, le candidat à la présidence de la République, Emmanuel Macron, avait proposé (en cas de réélection), de confier au nouveau Premier ministre la charge de la planification écologique. Une fois réélu, il a en effet confié à Elisabeth Borne, nommée Première ministre le 16 mai 2022, la planification écologique et énergétique (sachant qu'elle avait été ministre de la Transition écologique du 16 juillet 2019 au 3 juillet 2020).

Le 20 mai 2022, Élisabeth Borne a annoncé la création d'un **Secrétariat général à la Planification écologique**. et nommé à sa tête Antoine Pellion, qui était également chef de pôle Écologie, Transports, Énergie, Logement et Agriculture au sein de son cabinet. Le décret n°2022-990 du 7 juillet 2022 est venu formaliser cette annonce, en instituant ce Secrétariat, placé sous l'autorité de la Première ministre.

Le Secrétariat général de la planification écologique est chargé de :

- coordonner l'élaboration des stratégies nationales en matière de climat, d'énergie, de biodiversité et d'économie circulaire, en s'assurant du respect des engagements européens et internationaux de la France. Il veille en particulier à la soutenabilité de ces stratégies et à leur différenciation, afin de s'adapter aux particularités de chaque territoire et d'intégrer les enjeux économiques et sociaux ;
- veiller à la mise en œuvre de ces stratégies par l'ensemble des ministères concernés et à leur déclinaison en plans d'actions ;
- veiller à l'évaluation régulière des politiques menées au titre de ces stratégies et des plans d'action et à la publication d'indicateurs pour en rendre compte ;
- veiller à la cohérence de l'ensemble des politiques publiques avec les stratégies nationales précitées ;
- préparer et coordonner les saisines et les réponses du Gouvernement aux avis du Haut Conseil pour le Climat.

Le Secrétaire général à la planification écologique assure le Secrétariat du conseil de défense écologique. À ce titre, il participe à ses réunions, prépare ses délibérations et veille à l'exécution des décisions prises.

Le premier Conseil de planification écologique a eu lieu le 26 janvier 2023. Il avait pour objet de dresser un état des lieux sur les émissions de GES en France, de rappeler les objectifs à atteindre à l'horizon 2030 et 2050, et de déterminer les efforts de réduction à consentir d'ici ces deux horizons pour respecter ces objectifs.

Suite au départ d'Elisabeth Borne du gouvernement en janvier 2024, le SGPE a vu son rôle évoluer davantage vers l'expertise et le conseil. Ainsi, Michel Barnier qui fut Premier ministre du 5 septembre au 13 décembre 2024, n'avait pas reconduit Antoine Pellion dans son cabinet.

Sur fond de retour de bâton (« *backlash* ») généralisé sur l'écologie, Antoine Pellion a annoncé le 17 février 2025 quitter son poste pour devenir directeur général adjoint chargé du développement d'un groupe spécialisé le domaine des services énergétiques.

Au 27 mai 2025, le poste de secrétaire général du SGPE était toujours vacant, le secrétaire général adjoint étant Frédérik Jobert.

Le plan national de sobriété énergétique

Un demi-siècle après le premier choc pétrolier (1973) qui avait entraîné la mise en place de la première politique de maîtrise de l'énergie en France, Elisabeth Borne, alors Première ministre, a présenté, le 6 octobre 2022, un plan national de sobriété énergétique. Ce plan s'inscrivait dans le contexte de la crise énergétique engendrée par l'invasion de l'Ukraine par la Russie qui avait notamment conduit à une réduction progressive des exportations de gaz de

la Russie vers l'Europe de l'Ouest (dont la France), et à de fortes hausses des prix de l'énergie.

Cette crise se doublait de difficultés au niveau national en raison de l'indisponibilité d'un nombre important des 56 réacteurs nucléaires (27 au moment de la présentation du plan, soit près de la moitié) et d'une partie du parc hydraulique du fait d'une importante sécheresse.

Dans ce contexte d'incertitudes, la France faisait face à une tension de ses approvisionnements en gaz et en électricité. RTE, le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité haute tension en France métropolitaine, avait placé la sécurité d'approvisionnement en électricité en hiver sous vigilance particulière jusqu'en 2024.

Le plan national de sobriété énergétique visait à **réduire la consommation d'énergie (toutes énergies confondues) de 10% entre 2019 et 2024 et de 40% d'ici à 2050**. Son objet ultime était d'éviter des pénuries de gaz au cours de l'hiver 2022-2023 et les éventuels rationnements qui auraient pu s'imposer pour y faire face.

Le plan présentait une **série de mesures** à la fois **transversales** et **spécifiques aux différents secteurs consommateurs d'énergie. Ces mesures étaient** en très grande partie issues des travaux menés au cours de l'été 2022 par les neuf groupes de travail thématiques et sectoriels lancés par le Gouvernement entre juin et septembre 2022 (Etat exemplaire ; Entreprises ; Commerces et établissements recevant du public : Logement ; Collectivités territoriales ; Numérique et télécommunications ; Sports ; Transports ; Industrie). Ces groupes de travail, qui avaient mobilisé les principaux acteurs de chaque secteur, les experts, le monde associatif et syndical, ainsi que les énergéticiens, avaient permis de bâtir des **plans d'actions sur la sobriété sur-mesure comprenant des mesures de réduction de la consommation énergétique quantifiées.** Le potentiel de réduction de consommation était de l'ordre de 50 TWh.

En février 2023, la ministre de la Transition énergétique, Agnès Pannier-Runnacher, a lancé l'acte 2 de ce plan national de sobriété énergétique. Cette mise à jour visait à inscrire la baisse de la consommation d'énergie de la France dans la durée afin de respecter ses objectifs climat-énergie fixés aux niveaux national, européen et international. À cette fin, la ministre avait réuni à nouveau, avec chaque ministre concerné, l'ensemble des groupes de travail sectoriels et thématiques entre février et avril 2023 pour faire un point d'étape, afficher les indicateurs de suivi, lever les éventuels freins et étudier les possibilités de prendre de nouveaux engagements afin de réduire davantage la consommation d'énergie. S'appuyant sur ces travaux, la ministre a présenté, le 20 juin 2023, 14 nouvelles mesures phares, avec un focus particulier sur les mesures de sobriété d'été, liées au carburant et au numérique.

Vers la nouvelle stratégie française énergie-climat

La Stratégie française pour l'énergie et le climat (SFEC) comprend la mise à jour des principaux documents de planification de la politique nationale de transition écologique :

- la loi de programmation énergie-climat (LPEC), qui devait initialement être adoptée avant le 1er juillet 2023, puis tous les cinq ans, conformément à l'article 2 de la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat et à l'article L. 100-1 A du Code de l'énergie. Plusieurs fois reportée, un projet de loi a été proposé, puis fortement modifié, avant d'être abandonné, comme l'a confirmé, Roland Lescure l'ancien Ministre de l'Industrie et de l'Energie, dans un entretien au Figaro du 10 avril 2024 ;
- la mise à jour de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC-3), devant proposer de nouveaux budgets carbone en cohérence avec l'objectif de l'UE de -55% d'ici 2030 ;
- la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)
- le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-3)

Le 25 octobre 2024, le Premier Ministre et la Ministre de la Transition écologique, de l'Énergie, du Climat et de la Prévention des risques (MTECPR), ont présenté le troisième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-3).

Le 4 novembre 2024, le MTECPR a présenté le projet de mise à jour de la Stratégie nationale bas-carbone

(SNBC-3)[23] et la Programmation pluriannuelle de l'Énergie (PPE-3).

SNBC-3

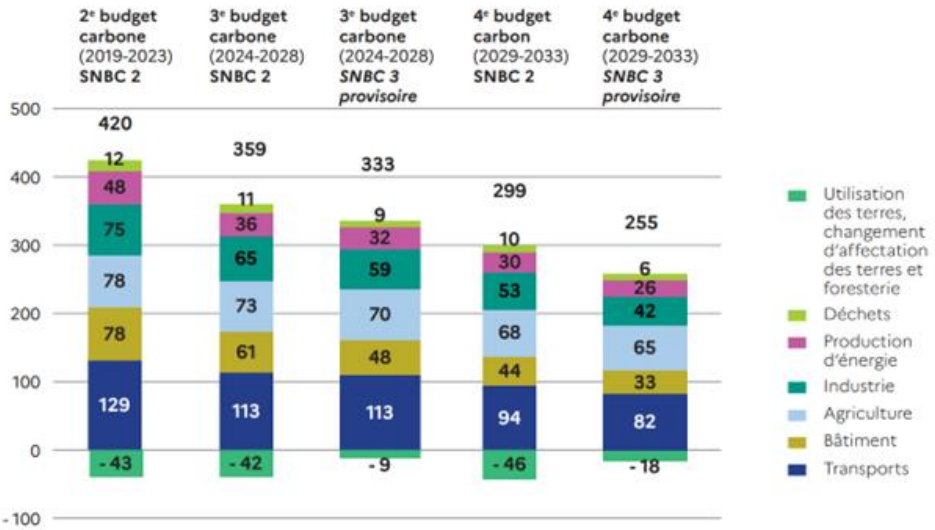
Le projet de SNBC-3, s'appuyant sur un travail de modélisation réalisé avec le Citepa, propose ainsi une mise à jour de l'objectif national de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 50% d'ici 2030 (par rapport à 1990), contre 40% précédemment. Il s'agit d'un objectif visant les émissions brutes (hors puits de carbone). Le puits de carbone, correspondant au secteur de l'utilisation des terres, des changements d'affectation des terres et de la forêt (UTCATF), est considéré à part du fait de ses spécificités et de son incertitude. C'est le faible niveau de puits de carbone ces dernières années qui avait entraîné le non-respect du dernier budget carbone 2019-2023 sur les émissions nettes.

Dans le projet de SNBC-3 mise en consultation, la répartition de l'effort, en absolu et en relatif, entre secteurs est présentée. Elle indique ainsi une réduction, entre 1990 et 2030, de 68% pour le secteur de l'industrie, de 65% pour la production d'énergie, de 57% pour les déchets, de 62% pour les bâtiments, de 27% pour les transports et de 25% pour l'agriculture. Les puits de carbone sont modélisés en 2030 à un niveau similaire au niveau actuel (-19 $MtCO_2$ contre -18 $MtCO_2$ en 2022).

Les leviers d'action identifiés et quantifiés dans la modélisation concernent la maîtrise de la demande en transport, le développement des transports en commun et des mobilités douces, l'évolution des régimes alimentaires, la décarbonation des vecteurs de chauffage, la réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments (sobriété), l'électrification des usages, la décarbonation des procédés de production industriels, le recyclage de matières premières, la réindustrialisation verte, la réorientation des déchets vers les filières de valorisation matière et énergétique…

La figure ci-dessous présente les nouveaux budgets carbone proposés dans la SNBC-3 pour la période 2024-2028 comparés à ceux fixés par la SNBC-2 pour la même période.

Comparaison entre les 2e, 3e et 4e budgets carbone de la SNBC 2 et estimation provisoire des 3e et 4e budgets carbone de la SNBC 3



Par ailleurs, une circulaire du Premier ministre en date du 29 septembre 2023 avait formalisé la démarche de territorialisation de la planification écologique. Mais en 2025, dans un contexte de recul de l'ambition mondiale en matière de lutte contre les changements climatiques suite à l'élection de Donald Trump à l'échelon international et à la dissolution en France, la planification écologique ne semblait plus constituer une priorité.

[23] Cf. le projet en concertation : https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr/sites/default/files/2024-11/20241031%20Projet%20de%20SNBC%203%20-%20concertation%20prealable-vF.pdf

Projet de loi de programmation énergie-climat

En matière de mix énergétique, la PPE est ainsi mise à jour avec l'objectif de passer d'une consommation énergétique à 60% carbonée à une consommation énergétique à 60% décarbonée d'ici à 2030. A l'instar de ce qui avait été présenté dans le PNEC soumis à la Commission européenne[24], l'objectif ne vise donc pas spécifiquement les énergies renouvelables mais vise la production décarbonée dans son ensemble, incluant donc le nucléaire.

	2022	2030	2035
SORTIE DES FOSSILES	60% D'ÉNERGIE FINALE FOSSILE CONSOMMÉE	42% D'ÉNERGIE FINALE FOSSILE CONSOMMÉE	29% D'ÉNERGIE FINALE FOSSILE CONSOMMÉE
PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DÉCARBONÉE	390 TWh	Au moins 560 TWh	Au moins 640 TWh
RELANCE DU NUCLÉAIRE	56 réacteurs 279 TWh	57 réacteurs en service 360 TWh (400 TWh « ambition managériale » d'EDF)	
PHOTOVOLTAÏQUE	16 GW 19 TWh	54-60 GW ~65 TWh	75-100 GW ~93 TWh
ÉOLIEN TERRESTRE	21 GW 38 TWh	33-35 GW ~64 TWh	40-45 GW ~80 TWh
ÉOLIEN EN MER	0,6 GW 1 TWh	4 GW ~14 TWh	18 GW ~70 TWh
HYDRO-ÉLECTRICITÉ	26 GW (avec STEP*) 43 TWh** (hors STEP)	26 GW (avec STEP) ~54 TWh (hors STEP)	29 GW (avec STEP) ~54TWh (hors STEP)
CHALEUR ET FROID RENOUVELABLE ET DE RÉCUPÉRATION	172 TWh chaleur 1 TWh froid livré par les réseaux	276-326 TWh chaleur 2 TWh froid livré par les réseaux	330-419 TWh 2,5 - 3 TWh froid livré par les réseaux
BIOGAZ	17,7 TWh dont 7 TWh injecté dans les réseaux de gaz naturel	50 TWh dont 44 TWh injecté dans les réseaux de gaz naturel (soit environ 15 % de biogaz injecté dans les réseaux de gaz)	50-85 TWh
BIOCARBURANTS	38,5 TWh	Entre 50 et 55 TWh	Entre 70 et 90 TWh
HYDROGÈNE (capacité d'électrolyse installée)	0 GW	Jusqu'à 6,5 GW (9-19 TWhpci)	Jusqu'à 10 GW (16-40 TWhpci)
CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE	1556 TWh	1243 TWh	ENVIRON 1100 TWh

Mises en garde du Haut Conseil pour le Climat

Le 2 avril 2024, le Haut Conseil pour le Climat (HCC) a adressé une lettre au Premier ministre français, en le mettant en garde contre le risque de recul de l'ambition de la politique climat de la France au vu des dernières évolutions, notamment concernant le calendrier d'adoption des documents de programmation stratégique. Le HCC souhaitait attirer l'attention du Premier ministre sur le niveau d'urgence, tant en matière d'atténuation que d'adaptation au changement climatique, « *qui invite à réaffirmer*

[24] Cf. Dans un contexte d'incertitude sur la SFEC, la France transmet la version revue de son plan national énergie climat à la Commission - Citepa

fermement et sans délai la politique climatique de la France, en adoptant au plus vite les documents de programmation prévus dans la loi de 2019 relative à l'énergie et au climat » [loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019].

Le HCC déclarait apprécier l'articulation et la mise en cohérence des différentes composantes des politiques climatiques présentées par le Secrétariat général à la planification écologique au Conseil national de la transition écologique du 12 juillet 2023. Cependant, le HCC constatait qu'après plusieurs consultations et débats, ni la loi de programmation énergie et climat (LPEC), ni la Stratégie française énergie et climat (SFEC), ni la troisième Stratégie nationale bas carbone (SNBC-3), ni le troisième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), ni la troisième Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE-3) n'avaient été formellement adoptés, malgré les obligations législatives.

Selon le HCC, ces documents sont essentiels afin de guider l'action climatique à long terme. Ces documents doivent en outre :

- fixer le niveau des budgets carbone de la France pour les périodes 2029-2033 et 2034-2038 en cohérence avec l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone en 2050,
- établir les priorités d'action pour la production et la gestion de l'énergie au-delà de 2028, et
- fixer les nouveaux plafonds indicatifs d'émissions pour les transports internationaux et l'empreinte carbone de la France.

Le HCC affirmait qu'« *il ne peut que s'inquiéter du risque de recul de l'ambition de la politique climatique induit par les dérives de calendrier de ses instruments les plus structurants* ».

La baisse des émissions de GES de la France pour 2023 présentée dans ce rapport, s'inscrirait pour la première fois dans la tendance générale attendue permettant d'atteindre l'objectif de la France pour 2030 dans le cadre du paquet « *Fit for 55* » européen. Cependant une telle baisse, soit le double de la baisse annuelle observée entre 2019 et 2022, doit être soutenue chaque année d'ici 2030 et au-delà et se refléter au sein de tous les grands secteurs émetteurs.

Ainsi, le HCC estime que la baisse annuelle d'ici 2030 et au-delà implique un facteur multiplicateur de diminution en émissions de GES par secteur, par rapport aux baisses constatées entre 2019 et 2022, de la manière suivante :

- pour le secteur des **transports** et celui de **l'énergie** : de 3,5 à 5 ;
- pour **l'industrie manufacturière** : entre 1,4 et 1,6 ;
- pour le **bâtiment (résidentiel-tertiaire)** : 1,2 ;
- pour **l'agriculture** : facteur 1,25 à 3,5.

En ce qui concerne ce dernier secteur, les annonces du Gouvernement du 26 janvier 2024 et celles du 1er février 2024 visant à soutenir les agriculteurs (notamment par un assouplissement de certaines normes environnementales) font craindre un recul de l'ambition climatique de l'action publique portant sur le système alimentaire. Or, souligne le HCC, pour atteindre les niveaux de diminution des émissions de GES correspondant aux objectifs climatiques de la France, une baisse de l'ambition de certains secteurs devra se traduire en hausse de l'ambition des autres secteurs émetteurs, qui ont déjà des objectifs ambitieux.

En outre, le HCC attirait également l'attention du Premier ministre sur le problème de l'affaiblissement des puits de carbone des forêts françaises. Ainsi, il soulignait que l'accélération de la baisse des émissions de GES de la France est d'autant plus nécessaire que l'état de santé actuel des forêts françaises, suite aux impacts du changement climatique [les sécheresses surtout], limite fortement leur contribution au stockage du carbone dans la biomasse. Certains puits forestiers de métropole sont même devenus émetteurs au cours de la dernière décennie, tandis que les sols agricoles émettent plus de carbone qu'ils n'en stockent.

Par ailleurs, l'avis du Haut Conseil pour le Climat sur la stratégie de captage, d'utilisation et de stockage du CO_2 (CCUS) de la France (publié le 30 novembre 2023) montre que le potentiel de séquestration de carbone à l'aide de ces technologies est réel mais limité et ne peut être pris en compte qu'en appui aux secteurs ne disposant pas d'alternatives, pour éliminer leurs émissions résiduelles.

Le HCC insistait sur le fait que ces défis ne pourront être relevés en France que si la politique climatique d'adaptation change d'échelle en devenant anticipatrice, préventive et transformatrice, et si le cadre stratégique pour l'atténuation, qui se construit, est mis en œuvre de manière opérationnelle et systématique et s'accompagne d'une politique économique d'ampleur permettant de déclencher les changements nécessaires dans un esprit de transition juste.

Pour conclure, le HCC déclarait qu'il resterait vigilant sur l'ambition et la cohérence de tous les dispositifs d'action publique ayant un impact, positif comme négatif, sur les émissions de GES et l'adaptation au changement climatique. L'adoption des lois, la publication des décrets, l'élaboration des documents de planification sont urgentes afin de donner à chaque

acteur la visibilité nécessaire pour agir en cohérence dans la durée.

Le plan national d'adaptation au changement climatique

Après une phase de consultation publique à laquelle le Citepa a participé, Agnès Pannier-Runacher, ministre de la Transition écologique, a présenté lundi 10 mars 2025 la version finale du troisième plan national d'adaptation au changement climatique, le PNACC 3, qui prévoit *« une cinquantaine de mesures et 200 actions concrètes pour préparer la France dans tous les secteurs d'activité à vivre avec le dérèglement climatique »*.

Le document rappelle qu'à l'échelle de la planète, selon l'Organisation météorologique mondiale, l'année 2024 a été la plus chaude jamais enregistrée avec une température moyenne supérieure de 1,55 °C à celle de l'ère pré-industrielle. Au vu des rapports du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), si les engagements des États exprimés dans le cadre de l'Accord de Paris devraient conduire à un réchauffement mondial médian de + 2,8 °C en 2100, les politiques mondiales effectivement mises en œuvre mènent plutôt à un réchauffement mondial médian de + 3,2 °C en 2100.

C'est pourquoi si le respect de l'Accord de Paris reste la cible des objectifs mondiaux de limitation du réchauffement climatique, le PNACC 3 souligne que *« face au risque de dépassement de ces objectifs, il est nécessaire de se préparer à un réchauffement climatique à + 4 °C à 2100 »*. Ce « défi considérable » appelle, dès maintenant, *« une action résolue des pouvoirs publics et de toute la société »*. *« Si la baisse des émissions est mondiale, le besoin d'adaptation est national »* et ce d'autant plus qu'un réchauffement de + 3°C dans le monde correspond à + 4°C en France.

Concernant spécifiquement la France, le rapport rappelle que si rien n'est fait, le réchauffement climatique pourrait conduire :

- **à une perte de richesse potentielle de 10 points de PIB pour le pays en 2100**, selon l'étude de l'Ademe *« Les risques climatiques et leurs coûts pour la France, une évaluation macroéconomique »,* rendue publique en décembre 2023 ;

- **à un coût estimé à environ un milliard d'euros par an pour l'agriculture à horizon 2050,** selon un rapport du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER), intitulé *« Évaluation du coût du changement climatique pour les filières agricoles et alimentaires »*, paru en avril 2022 ;

- **et jusqu'à 500 000 logements menacés par le recul du trait de côte d'ici 2100**, au vu d'une étude du Cerema, intitulée « *Projection du trait de côte et analyse des enjeux au niveau national – Horizons 2050 et 2100* », publiée en avril 2024.

Dans ce contexte, le PNACC 3 prévoit un ensemble d'actions concrètes pour adapter le territoire, Hexagone et Outre-mer, aux aléas ou impacts visibles et attendus du changement climatique : canicules, inondations, sécheresses, retrait-gonflement des argiles, érosion côtière, feux de forêt, perte de biodiversité, etc. Il s'agit de protéger la population et de construire la résilience de la société française. Et, pour ce faire, d'adapter les modes de vie, l'économie, les infrastructures et les décisions politiques en intégrant le climat futur dans l'ensemble de la planification écologique.

Ce plan vise notamment à favoriser l'évolution d'un grand nombre de secteurs (entreprises, transports, infrastructures, agriculture, etc.) afin de les adapter progressivement aux impacts du changement climatique.

Le nouveau plan repose, pour la première fois, sur une Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC). Cette trajectoire a été établie en s'appuyant sur les données du GIEC. Définie à partir du scénario tendanciel, elle doit servir de référence à toutes les actions d'adaptation menées en France.

En France hexagonale, ce scénario prévoit une hausse des températures moyennes

* de + 2 C° en 2030 ;

* de + 2,7 C° en 2050 ;

* et de + 4 C° en 2100

par rapport à l'ère préindustrielle.

Le PNACC 3 est structuré autour de cinq axes :

1 - protéger la population des effets du changement climatique ;

2 - assurer la résilience des territoires, des infrastructures et des services essentiels ;

3 - adapter les activités humaines : assurer la souveraineté alimentaire, économique et énergétique de notre pays à + 4°C ;

4 - protéger le patrimoine naturel et culturel ;

5 - mobiliser les forces vives de la Nation pour réussir l'adaptation au changement climatique.

Pour accélérer les démarches de prévention des territoires et mieux protéger la population, 52 mesures ont été définies en vue de l'adaptation au changement climatique.

Parmi elles sont prévues :

- le renforcement du fonds Barnier de + 75 millions d'euros par rapport à 2024 pour atteindre 300 millions d'euros ;
- la mobilisation du fonds Vert à hauteur de 260 millions d'euros ;
- la mobilisation de 1 milliard d'euros par les Agences de l'eau, dont près de 40% pour des interventions au titre de solutions fondées sur la nature ;
- des fonds mobilisables pour la prévention du retrait-gonflement d'argiles.

Le Haut Conseil pour le climat (HCC) s'est auto-saisi d'un avis sur le troisième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC 3), avis rendu public jeudi 13 mars 2025. Cet avis qui définit cinq conditions de réussite du plan et formule 24 recommandations, réaffirme et actualise plusieurs recommandations formulées dans les deux derniers rapports annuels du HCC, publiés en 2023 *« Acter l'urgence, engager les moyens »* et en 2024 *« Tenir le cap de la décarbonation, protéger la population »*.

Si le HCC salue la publication du PNACC 3, *« un document essentiel »*, ces membres soulignent dès les premières pages de leur rapport que *« Les financements favorables à l'adaptation dans le PNACC 3 restent très insuffisants »* et appellent à *« doter le PNACC 3 d'un plan de financement complet (État/collectivités/privé) prévoyant un renforcement des financements de l'adaptation sur la base d'un cadre incitatif et réglementaire et [à] mettre en place un suivi transparent des crédits alloués à chaque mesure »*.

De fait, *« l'aggravation des impacts du changement climatique nécessitera d'augmenter le financement de l'adaptation »,* rappelle l'avis. **Les impacts du changement climatique ont des coûts annuels récurrents élevés (par exemple, 10 Md € en 2022 pour les seuls biens assurés)** et ces coûts vont augmenter à l'avenir.

C'est pourquoi le HCC préconise que le PNACC 3 *« joue un rôle de catalyseur de financements à la fois publics et privés en combinant des mesures réglementaires et incitatives en faveur de l'adaptation au changement climatique. »* Pour des projets sensibles au climat, les autorisations réglementaires et les aides publiques (aux collectivités territoriales, aux entreprises et aux ménages) doivent être progressivement conditionnées à la mise en œuvre de normes et d'actions d'adaptation au changement climatique. Un cadre incitatif clair facilitera l'augmentation des financements favorables à l'adaptation, comme par exemple, la création de fonds et de facilités de financement, la planification budgétaire climatique, le fléchage des dépenses en faveur de l'action climatique et la planification des investissements en matière d'adaptation.

Pour le secteur privé, l'investissement pourrait être encouragé par des cartographies locales des risques climatiques, des plans d'adaptation et des taxonomies d'adaptation.

Les contentieux climat

La question des contentieux climat a pris une tournure importante en 2021, année marquée par deux cas importants : l'Affaire du siècle et Grande-Synthe.

Les deux recours de l'Affaire du siècle et de Grande-Synthe en France se sont inscrits dans un contexte plus large où les contentieux climat prennent de plus en plus d'ampleur à travers le monde, et notamment en Europe (Allemagne, Pays-Bas, Belgique, ...).

L'« Affaire du siècle »

Après une première demande au Gouvernement en décembre 2018 visant à accélérer la réduction des émissions de GES et non satisfaits de la première réponse, quatre ONG, Notre Affaire à tous, la Fondation pour la Nature et l'Homme (FNH), Greenpeace et Oxfam, ont lancé en mars 2019 une action judiciaire remettant l'État en cause pour

inaction climatique, via une requête déposée devant le tribunal administratif de Paris.

Premier jugement – février 2021

Après deux ans de procédure, l'action judiciaire a d'abord été examinée par le tribunal administratif de Paris le 14 janvier 2021. La question de la responsabilité de l'État dans la lutte contre le changement climatique était posée au juge pour la première fois. La rapporteure publique a proposé au tribunal :

- de reconnaître la carence fautive de l'État pour ne pas avoir respecté sa trajectoire de réduction des émissions de GES (fixée dans le cadre de la Stratégie nationale Bas-Carbone - le premier budget carbone (2015-2018) n'avait pas été respecté et les nouveaux budgets carbone de la SNBC-2 décalaient l'effort de réduction après le budget carbone de la période 2019-2023) ;

- de demander la réparation du préjudice moral de trois des associations requérantes à hauteur de 1 euro symbolique ;

- de reconnaître l'existence d'un préjudice écologique : même si son application au contexte des émissions de GES est complexe, elle considère qu'il n'y a pas d'impossibilité de réparer le préjudice écologique en nature, ce qui écarte une réparation par une indemnité financière ;

- de surseoir à statuer sur la demande visant à enjoindre l'État de prendre des mesures supplémentaires pour atteindre ses objectifs de réduction de GES, dans l'attente de la nouvelle décision du Conseil d'État, dans l'affaire Grande-Synthe (*voir plus loin*).

Le 3 février 2021, le tribunal administratif de Paris a rendu son jugement final en ne reprenant que partiellement les demandes des requérants. Il a bien condamné l'État à réparer le préjudice moral des associations à hauteur d'un euro symbolique, « *compte tenu des carences fautives de l'État à mettre en œuvre des politiques publiques lui permettant d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre qu'il s'est fixés* ».

Il a en revanche rejeté la demande de réparation du préjudice écologique mais reconnu ce préjudice, notion déjà établie en droit. Il a jugé que cette réparation peut être sollicitée devant les juridictions administratives, notamment par des associations de protection de l'environnement.

Néanmoins, pour le juge, le préjudice écologique n'est qu'en partie due à la carence de l'État. Ainsi, il considère que « *la carence de l'État n'a pas contribué directement à l'aggravation du préjudice écologique* » pour ce qui est des objectifs d'efficacité énergétique, d'énergies renouvelables, pour l'objectif de +1,5°C, de l'évaluation et du suivi et des mesures d'adaptation. La carence porte sur le non-respect du premier budget carbone de la SNBC-1.

Enfin, comme le concluait la rapporteure publique, il a sursis à statuer pour enjoindre à l'État de prendre de nouvelles mesures, en ordonnant un supplément d'instruction de deux mois (soit jusque début avril 2021). Il s'agissait des mesures « *qui doivent être ordonnées à l'État pour réparer le préjudice constaté ou prévenir, pour l'avenir, son aggravation* », c'est-à-dire permettant bien, *in fine*, la réparation du préjudice écologique passé et futur.

Deuxième jugement – octobre 2021

Le 30 septembre 2021 lors de la deuxième audience, la rapporteure publique du tribunal administratif de Paris a demandé au tribunal d'enjoindre au Premier ministre de « *prendre toutes les mesures utiles* » pour réparer le préjudice écologique causé par le non-respect des engagements de réduction des émissions de GES, et ce d'ici au 31 décembre 2022, sans astreinte financière. En clair, elle n'a pas recommandé de mesures pour réparer ce préjudice mais l'a sommé de respecter ses engagements, leur non-respect engageant sa responsabilité.

Le 14 octobre 2021, le Tribunal administratif de Paris a, pour la première fois, enjoint à l'État de réparer les conséquences de sa carence en matière de lutte contre le changement climatique. À cette fin, le tribunal a ordonné que le dépassement du plafond des émissions de gaz à effet de serre fixé par premier budget carbone (2015-2018), soit 15 Mt CO_2e « *et sous réserve d'un ajustement au regard des données estimées du Citepa au 31 janvier 2022* », soit compensé au 31 décembre 2022, au plus tard. Il n'a pas assorti, « *à ce stade* », cette injonction d'une astreinte. Il a ainsi ordonné au Premier ministre et aux ministres compétents « *de prendre toutes les mesures sectorielles utiles de nature à réparer le préjudice à hauteur de la part non compensée* ».

Le 14 juin 2023, trois des quatre organisations à l'initiative de l'Affaire du Siècle (Notre Affaire à tous, Greenpeace France et Oxfam France) ont déposé un nouveau mémoire au tribunal administratif de Paris. Ils affirmaient que l'État français n'avait pas pris toutes les mesures nécessaires pour réparer le préjudice écologique et demandaient donc au tribunal d'exiger de l'État qu'il prenne des mesures supplémentaires et

de prononcer une astreinte financière de 1,1 milliard d'euros pour les neuf premiers semestres de retard déjà cumulés (122 millions d'euros pour chaque semestre de retard supplémentaire). L'objectif de cette démarche était d'obliger le Gouvernement à prendre des mesures structurelles de réduction des émissions de GES.

Le 3 novembre 2023, les trois organisations requérantes ont remis aux juges deux nouveaux rapports visant à démontrer que les baisses d'émissions de GES mises en avant par le Gouvernement étaient liées à des facteurs conjoncturels (et non à des facteurs structurels).

Troisième jugement – décembre 2023

Suite à l'audience du 8 décembre 2023, le tribunal administratif de Paris a rendu un troisième jugement le 22 décembre 2023, rejetant ainsi la demande d'astreinte soumise le 14 juin 2023 par les trois ONG requérantes pour assurer l'exécution du deuxième jugement du tribunal du 14 octobre 2021.

Ce troisième jugement précise que l'État n'a pas complètement réparé, à la date du 31 décembre 2022, le préjudice écologique résultant du dépassement du budget carbone pour la période 2015-2018. Ainsi, selon ce nouvel arrêt, « *en dépit de la mise en œuvre par l'État de mesures visant à compenser le préjudice reconnu par le tribunal, la réparation de celui-ci ne peut être regardée comme étant complète à la date du 31 décembre 2022, au regard du préjudice restant à réparer, qui s'établit à 3 ou 5 Mt CO_2e, selon les chiffres retenus* » (*cf. point 18 du jugement*).

Le tribunal administratif de Paris a toutefois rejeté la demande d'exécution des trois ONG requérantes comportant une mesure d'injonction assortie d'une astreinte, jugeant que cette réparation pourrait être complétée en 2023 en raison du rythme de réduction des émissions de GES constaté en 2023. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de prononcer une mesure d'injonction ou d'astreinte à l'encontre de l'État pour assurer la complète exécution du jugement du 14 octobre 2021 : "*Au regard du rythme constaté de diminution des émissions de gaz à effet de serre et de la part indicative* [plafond indicatif] *fixée pour l'année 2023, tous deux mis en perspective avec le quantum du préjudice restant à réparer, il ne résulte pas de l'instruction* [...] *que cette tendance serait susceptible de connaître un infléchissement tel au cours de l'année 2023 que la réparation du préjudice en serait remise en cause. Dans ces conditions, à la date du présent jugement, il n'y a pas lieu de prononcer des mesures d'exécution supplémentaires*" (*cf. point 19 du jugement*). En clair, le tribunal juge que le rythme de réduction des émissions de GES constaté en 2023 ne rend pas nécessaire le prononcé d'une mesure d'exécution supplémentaire.

En réaction à ce troisième jugement du tribunal administratif de Paris, les trois ONG requérantes ont annoncé, le 22 février 2024, qu'elles allaient saisir le Conseil d'État afin de se pourvoir en cassation contre ce jugement.

Le 13 décembre 2024, les organisations de l'Affaire du Siècle ont annoncé avoir *« obtenu une avancée importante »* : le Conseil d'État leur a donné son feu vert pour faire appel de la décision rendue en décembre 2023 par le tribunal administratif de Paris. Initialement limitées à un pourvoi en cassation, les organisations de l'Affaire du Siècle – Notre Affaire à Tous, Greenpeace France et Oxfam France – pourront ainsi se présenter devant la Cour administrative d'appel pour le réexamen de l'exécution de la condamnation de 2021.

Grande-Synthe

Fin 2018, la commune de Grande-Synthe (Nord) et son maire ont demandé au président de la République et au Gouvernement de prendre des mesures supplémentaires pour que la France respecte ses engagements en termes de réduction des émissions de GES, pris dans le cadre de l'Accord de Paris et dans le cadre de ses objectifs nationaux (et notamment les budgets carbone de la SNBC). Un refus du président de la République et du Gouvernement leur a été opposé.

Soutenus par d'autres villes (Paris, Grenoble) et ONG (Oxfam France, Greenpeace France, Notre Affaire à Tous, Fondation pour la Nature et l'Homme), les requérants ont saisi le Conseil d'État, la plus haute juridiction administrative publique française, qui a dû, pour la première fois, se prononcer sur la question des engagements climatiques de la France, en l'occurrence le 19 novembre 2020. Sur la demande des requérants « *que soient prises toutes mesures utiles permettant d'infléchir la courbe des émissions de gaz à effet de serre produites sur le territoire national de manière à respecter a minima les engagements consentis par la France au niveau international et national* », le Conseil d'État a sursis à statuer en attendant que l'État prenne toutes les mesures utiles permettant de réduire plus efficacement les émissions de GES. Avant de statuer définitivement sur cette requête, le Conseil d'État a donc demandé au Gouvernement de justifier, dans un délai de trois mois (soit avant le 19 février 2021), que la trajectoire de réduction des émissions de GES pour 2030 (- 40 par rapport à 1990) pourra être respectée sans qu'il soit nécessaire de prendre des mesures supplémentaires.

Après avoir reçu, le 22 janvier 2021, du ministère de la Transition écologique (MTE) un mémoire justifiant que les mesures prises par le Gouvernement étaient suffisantes pour atteindre cet objectif de - 40%, le Conseil d'État a indiqué dans un communiqué, publié le 22 février 2021, les suites qu'il comptait donner à ce contentieux et a précisé le calendrier à venir. Le Conseil d'État a aussi transmis le mémoire du MTE aux associations requérantes ou intervenantes pour recueillir leurs observations.

En avril 2021, la section du contentieux du Conseil d'État a ouvert la phase d'instruction avec procédure contradictoire sur la base de l'ensemble des éléments reçus. Le MTE lui avait transmis quatre nouveaux mémoires (enregistrés le 18 février, le 19 mars, le 27 avril et le 31 mai 2021). Le 11 juin 2021, une nouvelle audience publique s'est tenue au Conseil d'État, en présence des collectivités, des associations requérantes et intervenantes ainsi que des représentants du Gouvernement, déjà présents lors de l'audience du 19 novembre 2020. Le rapporteur public a conclu que le Conseil d'État devait enjoindre au Gouvernement de prendre sous neuf mois toutes les mesures utiles permettant de respecter ses engagements.

La Haute juridiction a fait droit à la demande des requérants et enjoint au Premier ministre de prendre toutes mesures utiles avant le 31 mars 2022 pour infléchir la courbe des émissions de GES produites sur le territoire national afin d'assurer sa compatibilité avec l'objectif national 2030 de la France de - 40% et l'objectif national assigné à la France de - 37% (base 2005) pour les secteurs hors SEQE fixé par le règlement dit ESR (2018/842). Le Gouvernement disposait donc de neuf mois pour adopter des mesures de réduction supplémentaires à court terme pour atteindre la réduction de 12 sur la période 2024-2028 fixée par le 3e budget carbone. Au terme de ce délai, le Conseil d'État pouvait décider de prononcer une astreinte (amende).

Enfin, le Conseil d'État a condamné l'État à verser 5 000 € à la commune de Grande-Synthe.

Le 4 mai 2022, le Gouvernement a publié une synthèse de sa réponse au Conseil d'État dans le cadre de cette procédure, où il indique avoir transmis un mémoire à la juridiction détaillant l'ensemble des mesures prises depuis juillet 2021. Dans cette synthèse, le Gouvernement a souligné :

- que la loi dite Climat et Résilience prévoit le renforcement des objectifs sur les ZFE-m et l'accompagnement de l'évolution des comportements (formation, régulation de la publicité, etc.) ;

- que le plan d'investissements annoncé le 12 octobre 2021 par le président de la République, intitulé « France 2030 », visait notamment la transition écologique et l'accompagnement de filières d'excellence française (énergie, automobile, aéronautique et spatial) ;

- et rappelé l'annonce, par le président de la République le 10 février 2022, dans le cadre de « France 2030 », des grandes orientations données à la politique énergétique de la France, avec notamment une multiplication par 10 des capacités de production solaire à horizon 2050, le doublement des capacités de production d'éolien terrestre, la création d'une cinquantaine de parcs éoliens en mer, la construction de six réacteurs nucléaires

(EPR2) d'ici 2050 ainsi que le lancement d'études pour la construction de huit réacteurs EPR2 supplémentaires.

Enfin, le Gouvernement a également cité les travaux en cours pour la mise en place de la future stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC).

Soutenant que les mesures prises par le Gouvernement ne permettaient pas d'assurer l'exécution complète de la décision du 1er juillet 2021, la commune de Grande-Synthe, la ville de Paris, ainsi que les associations Notre Affaire à Tous, Oxfam France, la Fondation pour la nature et l'Homme et Greenpeace France, ont de nouveau saisi le Conseil d'État, en lui demandant :

- de constater que sa décision du 1er juillet 2021 n'avait pas été exécutée à la date du 31 mars 2022,
- de prononcer une astreinte à l'encontre de l'État français (pour non-respect de ses objectifs climat) s'il ne justifie pas avoir pris les mesures de nature à assurer l'exécution de la décision du 1er juillet 2021.

Suite à cette saisine, le Conseil d'État avait ouvert une procédure juridictionnelle d'exécution le 4 octobre 2022. Il avait ensuite procédé à l'étude des observations de la commune de Grande-Synthe, de la ville de Paris et des associations requérantes, puis tenu le 10 mars 2023 une séance orale d'instruction, au cours de laquelle il avait entendu le Gouvernement et les parties requérantes, et interrogé le Haut Conseil pour le Climat (HCC). Enfin, le Conseil d'État a tenu une audience le 12 avril 2023 au terme de laquelle le rapporteur public, Stéphane Hoynck, a formulé ses conclusions. Celui-ci a notamment souligné que les conclusions auxquelles la juridiction était parvenue dans sa décision du 1er juillet 2021, selon lesquelles les mesures de réduction prises par le Gouvernement jusque-là étaient insuffisantes, étaient toujours valables. Il a donc recommandé au Conseil d'État d'ordonner au Gouvernement d'adopter de mesures de réduction supplémentaires et d'accélérer les réductions, d'autant plus que les baissées constatées ces dernières années sont plus liées à des facteurs conjoncturels qu'à des facteurs structurels.

Le Conseil d'État a ainsi rendu une nouvelle décision, le 10 mai 2023, dans laquelle il estimait que, si des mesures supplémentaires avaient bien été prises et traduisaient la volonté du Gouvernement d'exécuter la décision, il n'était toujours pas garanti de façon suffisamment crédible que la trajectoire de réduction des émissions de GES puisse être effectivement respectée.

Le Conseil d'État soulignait ainsi que sous réserve de la confirmation des données d'émission 2021 et 2022, estimées et publiées par le Citepa, les objectifs 2019-2023 du 2e budget carbone, correspondant à une diminution moyenne des émissions de 1,9 par an, pourraient être respectés. Cependant, au-delà de cette moyenne, les baisses des émissions annuelles de GES étaient très contrastées : - 1,9 en 2019, puis - 9,6 en 2020. Par ailleurs, les données provisoires disponibles montraient que les émissions étaient reparties à la hausse en 2021 (+ 6,4) avant de redescendre à nouveau en 2022 (- 2,5).

Le Conseil d'État relevait surtout qu'il existait des incertitudes sur la question de savoir si ces résultats étaient liés à des actions du Gouvernement ou plutôt au contexte particulier des dernières années, caractérisé par de fortes baisses de l'activité (2020 avec la pandémie de Covid-19 et deux confinements), puis au rebond post-Covid-19 (2021) et enfin à la crise de l'énergie (2022 avec la guerre en Ukraine).

Sur la base des éléments transmis par le Gouvernement, la juridiction a constaté que le Gouvernement avait adopté un ensemble de mesures conséquent concernant plusieurs activités ou secteurs émetteurs de GES, et alloué des montants importants aux investissements en lien avec la transition écologique et énergétique. Le Conseil d'État ajoutait que cet ensemble des mesures témoignait de la volonté du Gouvernement d'atteindre les objectifs de 2030. Néanmoins, il soulignait que le HCC dans son rapport annuel 2022 (publié le 29 juin 2022) estimait qu'il existait un risque avéré que l'objectif de réduction pour 2030 ne soit pas tenu. Comme le notait le HCC, sur les 25 orientations de la stratégie de baisse des émissions établie par le Gouvernement (stratégie nationale bas carbone, SNBC), seules six avaient bénéficié de mesures en adéquation avec la trajectoire de réduction fixée et quatre auraient même fait l'objet de mesures aux effets contraires, en particulier dans le secteur des transports, du bâtiment, l'agriculture et l'énergie. Par ailleurs, le HCC constatait que malgré la création d'un Secrétariat général à la planification écologique, un véritable pilotage reposant sur des indicateurs pertinents et sur une évaluation systématique de l'incidence des politiques publiques sur le climat n'était toujours pas mis en œuvre. Le HCC estimait que le risque de ne pas atteindre les objectifs de 2030 était d'autant plus grand que la trajectoire de baisse des émissions prévoyait une accélération des baisses d'émissions qui devaient atteindre -3,2 par an à partir de 2024. Les risques de non-respect des objectifs étaient toujours d'actualité.

Compte tenu de cette nécessité d'accélérer la réduction des émissions dès 2024 et sachant que l'UE

a renforcé son objectif de réduction global pour 2030, en le portant de - 40% à - 55% par rapport à 1990 (cf. règlement (UE) 2021/1119 ou loi européenne sur le climat), **le Conseil d'État a estimé que les mesures prises ne permettaient pas de garantir, de façon suffisamment crédible, que la trajectoire de réduction des émissions adoptée par le Gouvernement pourrait être atteinte**. La France devra, à son tour, réajuster son objectif 2030 fixé par l'article L.100-4 du Code de l'Énergie (en application de la loi n°2015-992 du 17 août 2015 [loi sur la transition énergétique], modifié par la loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 [loi énergie et climat], puis par la loi n°2021-1104 du 22 août 2021 [loi Climat et Résilience]).

Conclusions du Conseil d'État : deux nouvelles échéances mais aucune astreinte

Sur la base de l'ensemble de ces arguments, **le Conseil d'État a conclu que sa précédente décision du 1er juillet 2021 ne pouvait être considérée comme ayant été exécutée**. Il a adressé une nouvelle injonction au Gouvernement, en enjoignant à la Première ministre de prendre **toutes les mesures supplémentaires** utiles pour rendre compatible le rythme de diminution réelle des émissions de GES avec la trajectoire de réduction de ces émissions fixée par les budgets carbone (via le décret n° 2020-457 du 21 avril 2020) en vue d'atteindre les objectifs de réduction fixés pour 2030 et ce, avant le **30 juin 2024**.

Le Conseil d'État a également demandé à la Première ministre de produire, pour le **31 décembre 2023**, puis au plus tard le **30 juin 2024**, un bilan d'étape détaillant ces mesures et leur efficacité, c'est-à-dire qu'elles soient de nature à permettre le respect des objectifs de réduction des émissions de GES fixés pour 2030.

Par contre, le Conseil d'État n'a pas prononcé d'astreinte à l'encontre du Gouvernement dans l'affaire Grande-Synthe, comme l'avaient réclamé les parties requérantes.

Enfin, le Conseil d'État a condamné l'État à verser à la commune de Grande-Synthe et à la ville de Paris la somme globale de 4 000 € (soit 2000 € chacune).

Analyse des émissions

CO_2e | Gaz à effet de serre en équivalent CO_2

Type
Gaz Indicateur

Définition
Les émissions en CO_2e (équivalent CO_2) correspondent à l'agrégation de toutes les émissions de gaz à effet de serre (CO_2, CH_4, N_2O, PFC, HFC, SF_6, NF_3) présentées en tonnes de CO_2 équivalent, soit en prenant en compte leur pouvoir de réchauffement global (PRG) propre à 100 ans.

Valeurs des PRG
Le PRG traduit l'impact sur le climat d'un gaz à effet de serre en comparaison au CO_2, de PRG = 1. Les valeurs ci-après, utilisées dans l'inventaire national, sont celles sur 100 ans issues du rapport du GIEC de 2014 (AR5) (voir chapitre Comprendre nos données pour plus d'informations)

CO_2 = 1

CH_4 = 28

N_2O = 265

HFC = <1 à 12 400

PFC = <1 à 11 100

SF_6 = 23 500

NF_3 = 16 100

Origine
Voir les sections par gaz à effet de serre

Phénomènes associés, effets
Voir les sections par gaz à effet de serre

Enjeux

Effets environnementaux

La hausse des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraine une perturbation du bilan radiatif terrestre, en bloquant une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre qui retournent vers la surface et réchauffent les basses couches de l'atmosphère et les océans.

▶ Voir section générale sur l'effet de serre.

Objectifs de réduction

Dans le cadre de la CCNUCC et de l'Accord de Paris

La France, en tant que Partie à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, doit participer à son objectif ultime, à savoir « stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » [art. 2 de la CCNUCC]. Les avancées des travaux scientifiques et des négociations climatiques ont, depuis, permis de définir un objectif quantifié dans le cadre de l'Accord de Paris : limiter à 2°C voire à 1,5°C le réchauffement global, et atteindre la neutralité carbone au cours de la seconde moitié du 21e siècle.

Dans le cadre du Protocole de Kyoto

Dans le cadre du Protocole de Kyoto, la France devait stabiliser, sur la période 2008-2012 (première période d'engagement), ses émissions de GES au niveau de 1990, soit un budget cumulé sur la période de 2 696 Mt CO_2e. Dans le cadre de la 2ème période du Protocole de Kyoto (2013-2020), seul un objectif collectif de l'UE a été défini : -20% par rapport à 1990. Cet objectif atteint est détaillé, au niveau des Etats-membres, dans le cadre de la politique climat de l'UE.

Dans le cadre de l'UE

L'UE s'est fixé un objectif global de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2030, qui est désormais de -55% (au lieu de -40%) (par rapport aux niveaux de 1990). Ce nouvel objectif global renforcé, formalisé par le règlement (UE) 2021/1119, dite loi européenne sur le climat, vise à s'adapter à la nouvelle ambition européenne à long terme, à savoir l'objectif de neutralité carbone à horizon 2050, également fixé par le règlement précité.

La Commission a présenté le 14 juillet 2021 un « paquet » climat dit « adapté aux 55% » (« fit for 55 ») visant à adapter les différents textes législatifs européens en vigueur au nouvel objectif plus ambitieux de -55%, afin de concrètement mettre en œuvre ce nouvel objectif. Depuis, les différents actes législatifs issus de ce paquet politique ont été publiés.

L'UE s'est fixé des objectifs climatiques sectoriels qui se déclinent en trois volets :

- les objectifs visant le SEQE (Système d'échange de quotas d'émissions ou EU-ETS, couvrant des installations industrielles et énergétiques, et l'aviation), avec un objectif de -43% entre 2005 et 2030. Dans le cadre du paquet « fit for 55 », le périmètre du SEQE s'est élargi au maritime, au transport routier, aux bâtiments ; et ses objectifs sont mis à jour (voir chapitre *Politique Climat*).
- les objectifs visant les secteurs hors-SEQE, dans le cadre de l'ESR (*Effort Sharing Regulation*), mis à jour avec le règlement 2023/857 modifiant le règlement 2018/842. L'objectif assigné à la France est une réduction de -47 ,5% entre 2005 et 2030.
- et enfin le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt, c'est-à-dire le puits de carbone) : géré comme un troisième pilier avec le règlement 2018/841 puis le règlement 2023/839, définissant des objectifs au niveau de l'UE et de chaque Etat membre pour ce secteur.

Au niveau national : SNBC

L'objectif fixé au niveau national par la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) se traduit par une série de budgets carbone définis en 2015 dans la Loi sur la Transition Energétique (LTE), révisés en 2020 (SNBC-2), de nouveau en cours de révision pour 2025 SNBC-3). Le 1er budget carbone, sur la période 2015-2018, de 442 $MtCO_2e$/an (hors UTCATF), a été dépassé (453 $MtCO_2e$/an en moyenne).

Les budgets carbone définis par la SNBC-2 ont été définis sur la base de pouvoirs de réchauffement globaux (PRG) issus de l'AR4 du GIEC, alors que depuis l'édition 2023 de Secten, les PRG de l'AR5 sont utilisés. De plus, ces budgets carbone étaient basés sur des projections prenant comme point de départ l'inventaire Secten édition 2018, or des améliorations méthodologiques ont été apportées depuis et les émissions historiques ont connu des recalculs (particulièrement importants pour les secteurs agriculture et UTCATF par exemple). Ainsi, certains budgets carbone peuvent se retrouver en décalage avec les émissions actuelles. Les nouveaux budgets définis par la SNBC-3, en plus d'intégrer une ambition plus forte pour se conformer à l'objectif européen de -55%, seront plus cohérents avec les dernières émissions historiques. Le 4 novembre 2024, le Ministre de la Transition écologique, de l'Énergie, du Climat et de la Prévention des risques (MTECPR) a soumis en consultation publique le projet de mise à jour de la SNBC-3.

En attendant cette mise à jour, le Haut Conseil pour le Climat (HCC), ajuste les budgets carbone de la stratégie en vigueur[25] afin de prendre en compte les améliorations méthodologiques apportées dans le cadre de l'inventaire national, et ce conformément à l'article D222-1-B alinéa II.

Pour cette édition 2025, l'ajustement des budgets, calculé avec la méthodologie du HCC[26], est proposé dans ce rapport. A noter toutefois, que **le respect des budgets carbone sera évalué officiellement par le HCC dans leur prochaine publication.**

Les budgets carbone des différentes périodes impliquent que les émissions de GES, en moyenne sur la période, ne doivent pas dépasser un budget carbone donné. Le **deuxième budget carbone**, hors puits de carbone, fixé par la SNBC révisée (SNBC-2) et réajusté à titre d'information par le Citepa à partir des dernières améliorations méthodologiques, s'élève à **425$MtCO_2e$/an en moyenne sur la période 2019-2023** (contre 398 Mt CO_2e/an dans la SNBC-1). Au total, en prenant en compte l'objectif proposé pour le secteur de l'utilisation des terres, des changements d'affectation des terres et de la forêt (UTCATF), le budget s'élève à 380 $MtCO_2e$/an. En complément, la SNBC-2 définit des tranches indicatives annuelles décrivant la trajectoire attendue de baisse chaque année. Hors puits de carbone, les objectifs sont en voie d'être respectés pour la période 2019-2023 (*voir plus loin, section « SNBC-2 : 2e budget carbone (2019-2023) »*).

La SNBC-3 proposera des budgets carbone, pour les prochaines périodes (le 3ème budget est défini pour la période 2024-2028), mis à jour pour refléter les différents points mentionnés plus haut. Dans le projet en consultation, le 3ème budget propose un objectif provisoire, hors puits de carbone, de **333 $MtCO_2e$/an** (contre 362 $MtCO_2e$/an pour la SNBC-2).

[25] Les budgets carbone sont définis dans le décret n°2020-457 du 21 avril 2020

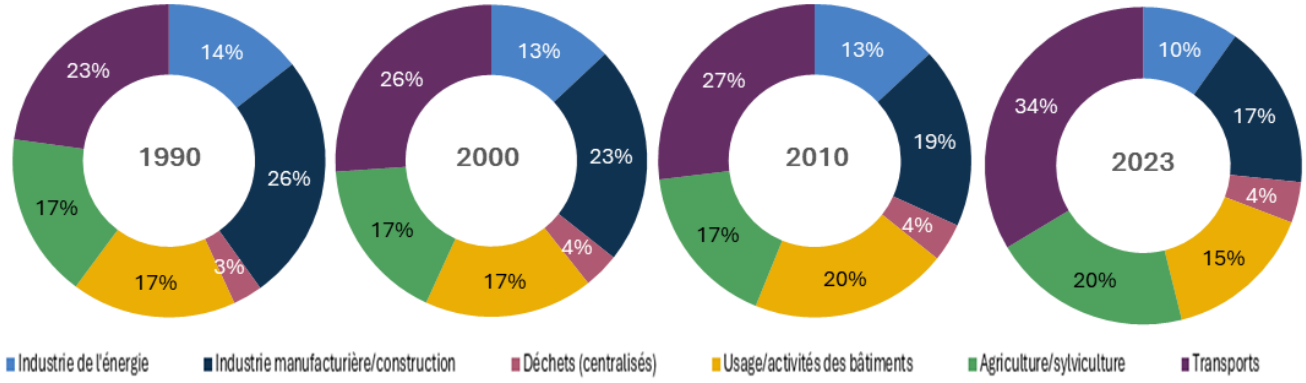
[26] Cf. annexes du chapitre 2 (2.4.1 – Méthodologie d'ajustement des budgets carbone) du rapport annuel du HCC

A noter

Les valeurs de Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) utilisés dans l'inventaire sont ceux du 5e rapport du GIEC, conformément aux exigences de la CCNUCC. (décisions 18/CM1.1 et 1/CP.24 (adoptées à la COP 24) sur la mise en œuvre de l'Accord de Paris). Il n'a pas encore été décidé dans ce cadre international d'utiliser les PRG du 6e rapport du GIEC (AR6) (voir chapitre Comprendre nos données, section sur les PRG).

Contrairement aux éditions du rapport Secten antérieures à 2020, le périmètre utilisé par défaut pour les émissions de GES couvre la Métropole et l'Outre-Mer inclus dans l'UE, en cohérence avec les périmètres des objectifs. Sauf mention contraire, les émissions de chaque GES individuel sont exprimées en CO_2e.

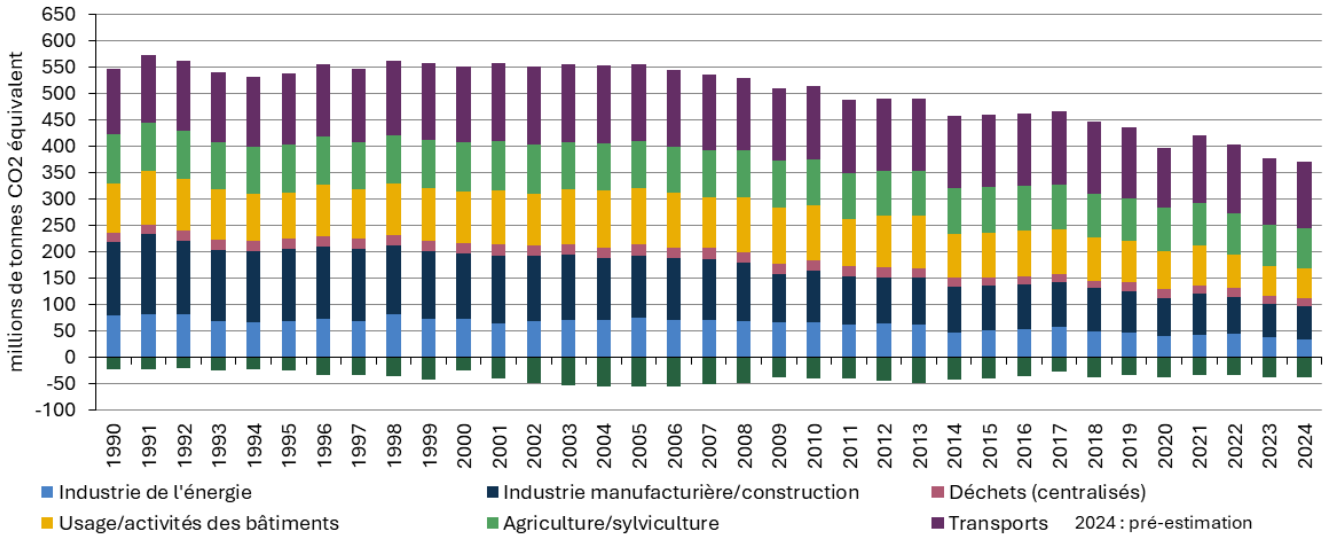
Principaux secteurs émetteurs



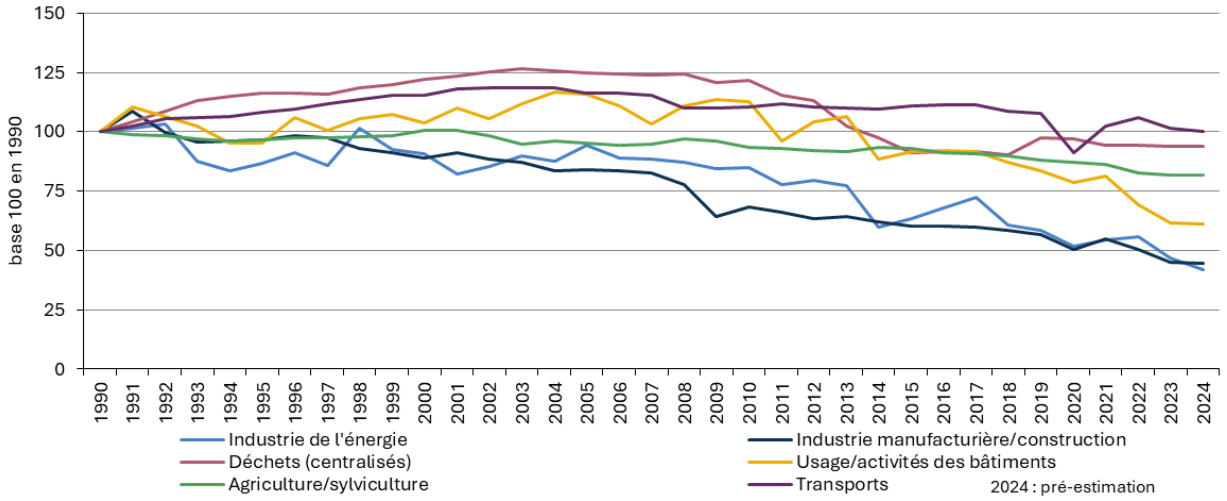
Répartition des émissions de gaz à effet de serre en CO_2e en France

Tendance générale

Les émissions brutes de GES (hors puits de carbone du secteur UTCATF) en France sont analysées dans leur ensemble depuis 1990. Le maximum observé correspond à l'année 1991. Néanmoins, le véritable pic des émissions de GES en France est vraisemblablement 1973, année du choc pétrolier, où l'on observe les émissions maximales de CO_2, composante principale des émissions de tous GES, dont on estime les émissions à partir de 1960. On observe d'abord un plateau dans les années 1990 jusqu'en 2005, puis une diminution irrégulière jusqu'en 2014, ensuite une période de lente ré-augmentation des émissions brutes entre 2014 et 2017, de moins de 1% par an (+0,7% en 2015, +0,5% en 2016, +0,5% en 2017) du fait des secteurs de l'énergie, du transport et des bâtiments notamment. Depuis 2018, les émissions sont de nouveau en baisse, jusqu'à atteindre le niveau le plus bas enregistré en 2020. Depuis, malgré le rebond observé en 2021 et 2022 (suite à la baisse exceptionnelle de 2020) les émissions sont toujours basses avec une réduction continue entre 2022 et 2024. Hors puits de carbone, entre 2019 et 2023, les émissions ont effectivement été réduites de 60 $MtCO_2e$, soit une baisse relative de 14%.

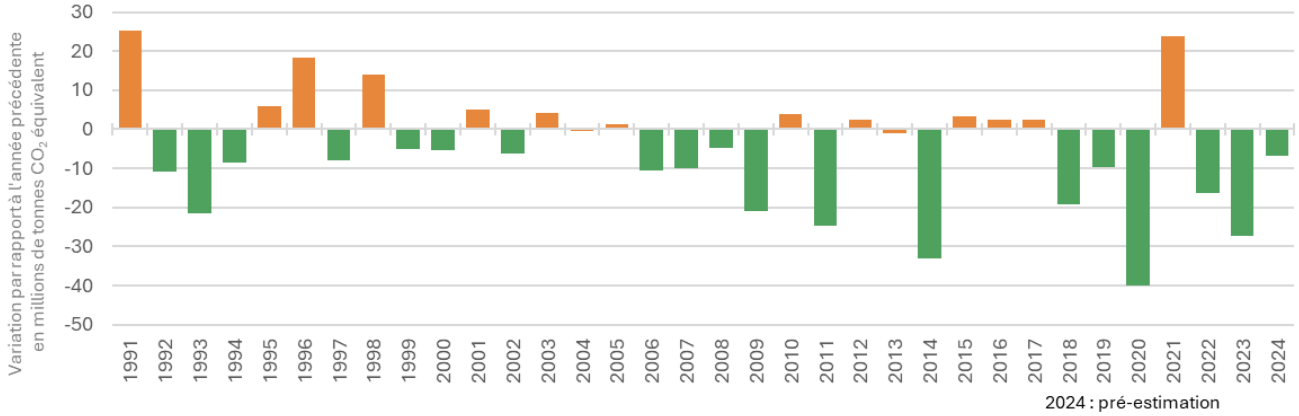


Evolution des émissions dans l'air de CO_2e depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air de CO_2e en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Variations interannuelles



Variations interannuelles des émissions de CO_2e (Mt CO_2e) - en France (Métropole et Outre-mer UE)

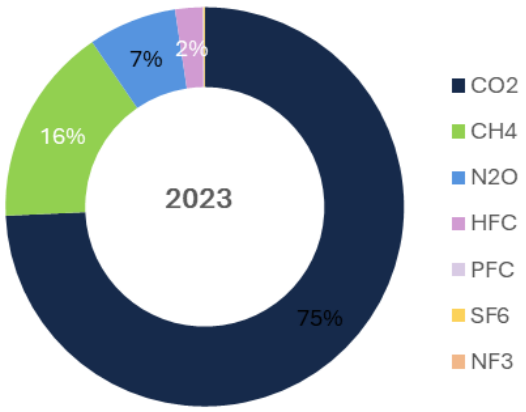
Les variations interannuelles sont hétérogènes au cours de la période estimée.

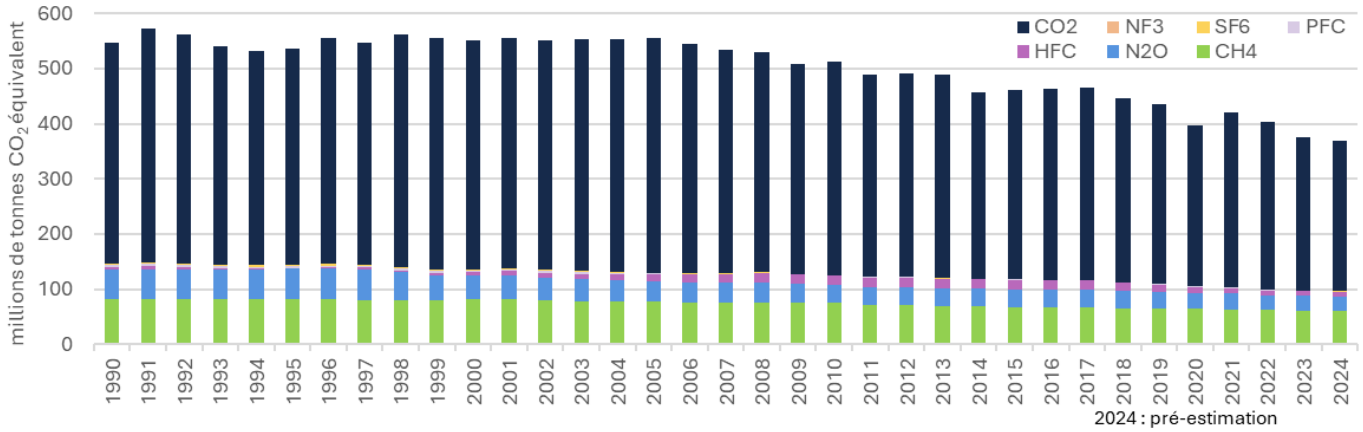
Au cours de la période 1990-2023, les variations interannuelles font apparaître des hausses de moins en moins fortes : La hausse de 2021 reste un cas particulier, étant le contre-coup de la crise de 2020. Les réductions d'émissions sont, en revanche, de plus en plus fortes, avec une baisse exceptionnellement forte en 2020. Ces différents écarts interannuels historiques montrent que les causes sous-jacentes des réductions d'émissions sont multiples avec des effets plus ou moins de long terme. On peut en effet noter des effets de court terme, plutôt conjoncturels, comme les fluctuations des conditions climatiques, la douceur ou la rigueur des hivers jouant sur les émissions de CO_2 dans les secteurs Energie (production d'électricité par des centrales au gaz voire au charbon) et Résidentiel-Tertiaire (chauffage) ou bien les crises économiques (2008-2009, 2020) ou encore la disponibilité des centrales nucléaires. A l'inverse, une certaine tendance est observée et peut reposer sur des causes plus structurelles comme l'évolution du mix énergétique, du parc automobile, des bâtiments, la transformation du système productif, des pratiques agricoles, des comportements…

Poids des différents gaz à effet de serre

Ce sont les émissions de CO_2 qui expliquent les grandes tendances d'évolution des émissions de GES. Le graphique ci-dessous présente le poids de chaque gaz à effet de serre dans les émissions totales exprimées en équivalent CO_2 (CO_2e).

Le CO_2 est le principal contributeur aux émissions de GES en France métropolitaine avec 75% des émissions de GES en 2023. Le méthane est le 2nd contributeur avec 16% ; suivi par le N_2O (7%). Le reste concerne les gaz fluorés, en majorité les HFC (2%).





Répartition des émissions de CO_2e par GES - hors UTCATF - en France (Métropole et Outre-mer UE)

Evolution des différents gaz à effet de serre

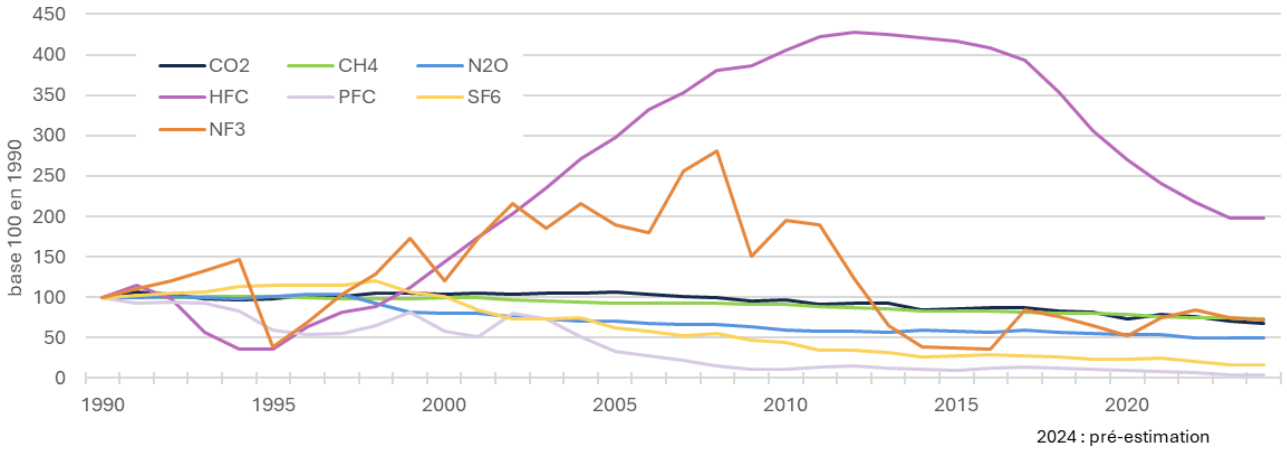
L'évolution des émissions de CO_2 s'explique essentiellement par :

- La hausse du trafic routier sur la période, même si, depuis 2008, la part des véhicules moins consommateurs et des biocarburants augmente ;
- La hausse de la consommation énergétique dans le secteur des bâtiments résidentiels et tertiaires, avec une forte variabilité liée à celle de la rigueur des hivers ;
- La baisse de la consommation de pétrole et de charbon depuis les années 1970 au profit de l'électricité et du gaz naturel ;

- Les économies d'énergie après le choc pétrolier de 1973 ;
- Les réglementations et le contexte économique impactant la baisse des émissions industrielles ;

La baisse de la production d'énergie fossile après les pics pétroliers de 1973 et 1979 et la mise en place du programme nucléaire expliquent la baisse générale des émissions du secteur Energie. Depuis 1990, la part des gaz autres que le CO_2 fluctue autour de 24 à 27%. Le CH_4 et le N_2O sont très majoritairement émis par le secteur Agriculture (élevage et culture) : fermentation entérique des bovins, gestion des déjections...

Les évolutions des différents GES présentent des profils différents, globalement en baisse depuis 1990 sauf pour les HFC qui ont connu une période de forte hausse alors qu'ils remplaçaient progressivement les CFC et HCFC ; leurs émissions sont également en baisse, significative depuis 2018, du fait notamment de la limitation des quantités de HFC autorisées à être mises sur le marché imposée par le règlement européen (UE) n°517/2014 et d'utilisation de fluides plus faibles en PRG.



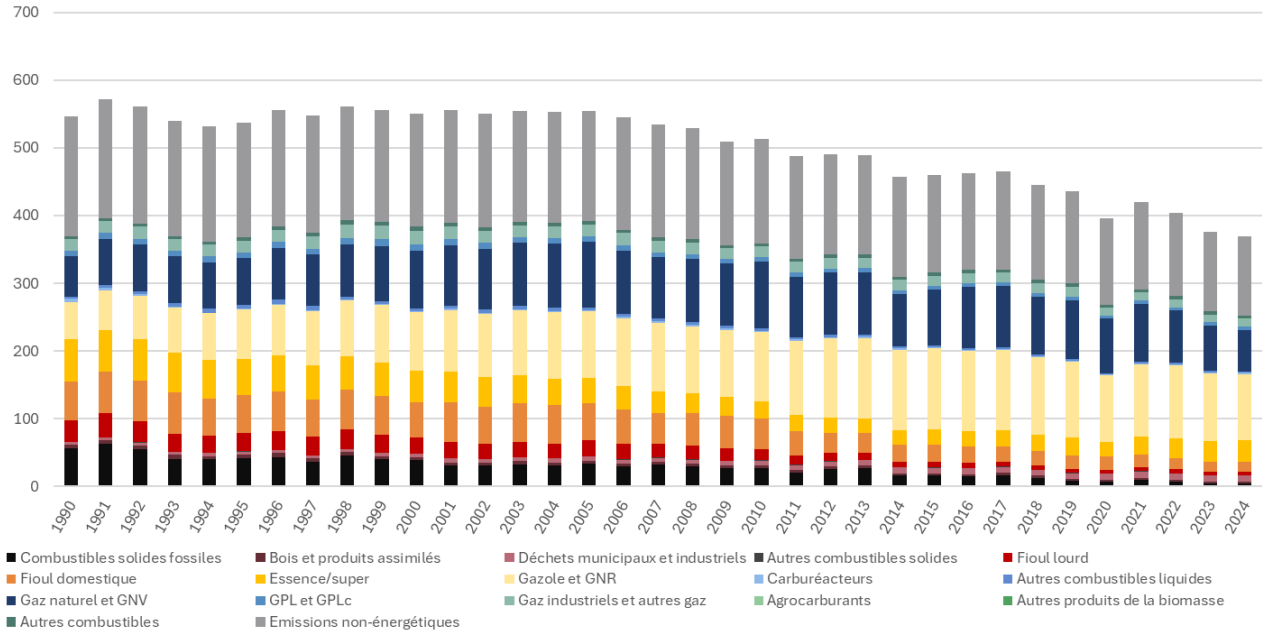
Evolution relative des différents GES hors UTCATF en France (Métropole et Outre-mer UE) (base 100 en 1990)

Puits de carbone et émissions nettes

Le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Forêt) est un puits net de carbone. Cela signifie qu'il génère plus d'absorptions de CO_2 que d'émissions. Il s'agit pour l'instant du seul moyen pour la France de générer des absorptions importantes de CO_2. Pour 2023, on évalue que ce puits net représente environ -37 $MtCO_2e$. Dans le même temps, les autres secteurs ayant émis, en 2023, 376 Mt CO_2, le puits de carbone permet donc de compenser 10% des émissions des autres secteurs. Fortement à la hausse depuis 1990 (il est notamment doublé à partir des années 2000, passant de -22 $MtCO_2e$ en 1990 à - 50 $MtCO_2e$ en 2002), une baisse est notée entre 2009 et 2017. Le puits est relativement stable autour de - 36 $MtCO_2e$ depuis 2018. La dynamique de puits de carbone de la forêt française, historiquement responsable de cette croissance du puits, s'amenuise, marquée notamment par des sécheresses et maladies qui entrainent une surmortalité des arbres et une diminution de leur croissance, et par une hausse des récoltes de bois (*lire le chapitre UTCATF pour plus de détail*).

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions liées aux combustibles représentent une part assez stable, de 68 à 71% des émissions totales de gaz à effet de serre. C'est cette part liée aux combustibles qui connait les fluctuations les plus fortes et qui explique notamment la période de hausse des émissions entre 2014 et 2017. La part des émissions liée au gazole (notamment liées aux véhicules Diesel) et au gaz naturel est de plus en plus importante, et représente en 2023 respectivement 27% et 18% des émissions totales de GES.



Part des émissions de GES liées aux combustibles

Évolution récente

La hausse de la période 2015-2017

Bien que l'objectif soit de poursuivre la baisse des émissions à un rythme de plus en plus soutenu, une légère augmentation des émissions totales de GES est observée sur la période 2015-2017 (entre 0,5 et 0,7% par an). Cette hausse est surtout liée au fait que la baisse en 2014 était exceptionnelle, et en partie conjoncturelle. L'année 2014 avait en effet un niveau d'émissions en très forte baisse en lien avec un climat particulièrement clément - indice de rigueur météo le plus bas observé depuis 1960 après le record de 2011). Corrigées des variations climatiques, la baisse constatée de 7% entre 2013 et 2014 serait réduite à 2% (soit -10 Mt CO_2e, contre -33 MtCO_2e à climat réel)[27].

Cela avait impacté notamment à la baisse les émissions du chauffage des bâtiments. Il y avait eu aussi une moindre activité de raffinage et moins de consommation de charbon pour produire de l'électricité, en lien avec cette douceur météo exceptionnelle.
Dans le détail, ce rebond des émissions de GES, entre 2015 et 2017, était principalement lié :

- à la production d'électricité. Le niveau 2014 était historiquement bas du fait d'une consommation de charbon divisée par deux par rapport à 2013 et d'un hiver particulièrement doux. Entre 2015 et 2017, les émissions ont réaugmenté du fait d'un arrêt de certaines tranches de centrales nucléaires et d'hivers moins doux pour revenir au niveau des années 2011-2013 (*voir le chapitre Energie*).
- au secteur résidentiel. L'année 2014 était une année particulièrement douce où les besoins de chauffage du résidentiel ont été moins importants en comparaison avec les autres années (*voir le chapitre Bâtiments Résidentiels & Tertiaires*).

A noter cependant que derrière cette hausse générale on observe des dynamiques sectorielles contrastées. Ainsi, sur la période, c'est le secteur de la production d'énergie qui explique la majeure partie des hausses de chaque année. A part une très légère hausse des transports et des bâtiments (en 2015), tous les autres secteurs étaient en baisse. En 2014, ce secteur de la production d'énergie avait connu une baisse exceptionnelle de 13,6 Mt. Les hausses subséquentes en 2015 (+2,8) en 2016 (+3,6) et en 2017 (+3,7) restent, même cumulées, moins fortes que cette baisse de 2014. Le rebond des émissions post 2014 pour ce secteur n'a donc pas entrainé un retour au niveau d'émission aussi élevé que celui observé avant 2014.

[27] Cf. fichier de données complémentaires Emissions de GES corrigées des variations climatiques.

Cette période de hausse temporaire des émissions de GES en France a entrainé le non-respect du premier budget carbone défini par la SNBC-1 (voir Section « Atteinte des objectifs » plus bas).

Des émissions de nouveau en baisse en 2018 et 2019

Après cette période de hausse modérée, les émissions brutes de GES ont diminué de 4,1% en 2018 et de 2,2% en 2019.

La réduction d'émissions entre 2017 et 2018 était due, entre autres, à une baisse des consommations d'énergie du fait d'un hiver doux (la baisse de 4,1% des émissions de GES entre 2017 et 2018 à climat réel, décroit de 3,5% à climat corrigé), d'une hausse de la production d'électricité d'origine hydraulique (excédent pluviométrique) et d'une plus grande disponibilité du parc nucléaire. Elle était donc surtout liée au secteur de l'industrie de l'énergie (-9,4 $MtCO_2e$, soit la moitié de la baisse totale), et dans une moindre mesure au secteur résidentiel-tertiaire (-4,1 $MtCO_2e$) ; aux transports (- 3 $MtCO_2e$) et à l'agriculture (-0,9 $MtCO_2e$).

La baisse des émissions du transport en 2018 (-2,9 Mt, soit -2%), même si elle ne représente qu'une petite partie de la baisse globale, n'avait pas été observée dans la série depuis la crise de 2008 (-6,3 Mt CO_2e, -4,4%). Elle est liée à une baisse des émissions des véhicules diesel (véhicules particuliers surtout). Cette baisse interannuelle s'inscrit dans une diminution des émissions des véhicules particuliers diesel observée à partir de 2015, à la suite d'une baisse des ventes de Diesel depuis 2009-2010 et qui s'accélère vers 2015, liée au « *Dieselgate* » et à l'introduction de normes plus contraignantes (Euro 5 en 2011, Euro 6 en 2014) ayant entrainé un surcoût des véhicules diesel à l'achat et un regain d'attractivité pour les véhicules essence. La mise en place des ZFE, où les véhicules diesel seront progressivement interdits, a peut-être aussi joué un rôle d'anticipation de la demande.

La réduction d'émissions entre 2018 et 2019 s'explique notamment par une baisse des volumes de fioul consommés dans le résidentiel et des activités de métallurgie des métaux ferreux dans l'industrie, ainsi qu'un moindre recours au charbon dans la production d'électricité. Ainsi, cette baisse est surtout liée :

- au secteur des bâtiments résidentiels et tertiaires (-3,4 $MtCO_2e$, soit un tiers de la baisse totale). La baisse des émissions liées au chauffage des bâtiments résidentiels s'explique notamment par une réduction des volumes de fioul domestique consommés et de gaz naturel. Dans le tertiaire, la baisse s'explique principalement par un ralentissement des gaz fluorés ;
- à l'industrie manufacturière et à la construction (-2,7 $MtCO_2e$, soit un tiers de la baisse). Cette décroissance s'explique pour plus de la moitié par la métallurgie des métaux ferreux (- 1,5 $MtCO_2e$), suivi dans une moindre mesure de la chimie (-0,9 $MtCO_2e$), ainsi que les biens d'équipements, l'agroalimentaire et la métallurgie des métaux non ferreux. La réduction des émissions de la métallurgie des métaux ferreux s'explique par une baisse des consommations d'énergie (gaz naturel, charbon) et de la production d'acier, de ciment et de verre creux ;
- à la production d'énergie (-1,8 $MtCO_2e$). Cette diminution s'explique pour plus de la moitié par la baisse de la production d'électricité (- 1,3 $MtCO_2e$), suivi du raffinage du pétrole (- 0,4 $MtCO_2e$) et du chauffage urbain (- 0,1 $MtCO_2e$). Dans la production d'électricité, l'année 2019 est marquée par une moindre utilisation du charbon compensée en partie par une hausse du gaz. Le moindre recours au charbon peut être lié à la forte baisse du cours du gaz en 2019 qui favorisa les centrales à gaz ainsi qu'à la hausse continue du cours des quotas européens de CO_2.
- à l'agriculture (-1,9 $MtCO_2e$). La baisse est équivalente pour l'élevage (-0,9 $MtCO_2e$) et les cultures (-0,9 $MtCO_2e$). Celle du CH_4 constatée est principalement liée à la décroissance du cheptel bovin. Celle du N_2O s'explique par une baisse de l'azote minéral épandu et la baisse du cheptel bovin également.
- au secteur des transports, dont les émissions sont en légère régression (-1,2 $MtCO_2e$, soit - 0,9%), liée au transport routier et les autres modes de transport, à l'exception du maritime domestique, connaissant une légère hausse.

Le traitement centralisé des déchets voit quant à lui ses émissions augmenter de 1,2 $MtCO_2e$ en 2019 (+8,3%), compte tenu de la hausse des quantités mises en décharges (voir chapitre Déchets).

En 2020 : l'impact sans précédent de la crise du Covid-19

L'année 2020 est marquée par deux phénomènes conjoncturels ayant entrainé une baisse massive, et sans précédent, des émissions de gaz à effet de serre en France : la crise de la pandémie de Covid-19 et, dans une moindre mesure, des températures hivernales très clémentes (niveau record de l'indice météo depuis que cet indicateur est suivi, en 1970, après les records précédents de 2011 et 2014 qui avaient aussi entraîné de fortes baisses des émissions). Mais c'est surtout en raison de l'impact de la crise sanitaire du Covid-19 et des mesures de confinements associées, que l'année 2020 constitue une rupture forte dans l'évolution des émissions de GES en France avec une chute globale de 9%. Le graphique ci-après compare l'évolution interannuelle des émissions entre 2019 et 2024.

Tous les secteurs n'ont pas été affectés par la crise de la même façon et les évolutions des émissions reflètent ces contrastes. Il apparait ainsi, pour 2020 :

- pour le secteur des transports, très marqué par la crise et les restrictions de circulation (réduction massive du trafic aérien, chômage partiel, télétravail…), une réduction d'émissions exceptionnellement forte, mais temporaire, de 15,6% (-20,8 $MtCO_2e$), soient -15% pour le transport routier et -39% pour le transport aérien domestique.
- une forte diminution du secteur des bâtiments. La baisse est d'abord liée à une chute des émissions du secteur tertiaire, du fait de la crise (fermeture restaurants, commerces, bureaux…) mais aussi à une réduction du chauffage résidentiel du fait d'un très faible indice de rigueur météo (nouveau record historique de douceur hivernale en 2020). En effet, corrigées des variations climatiques, les émissions de GES des bâtiments auraient diminué de presque 1% uniquement, contre 6% observé à climat réel.
- Une forte diminution des émissions de l'industrie (-11%), là aussi en raison des effets économiques de la crise du Covid-19 mais une partie de ces réductions d'émissions s'inscrivent dans la continuité des efforts d'atténuation du secteur déjà observés l'année précédente.
- Dans le secteur de l'énergie, une poursuite de la décroissance des émissions de la production d'électricité (-11%) principalement décarbonée mais qui recourt aussi à des centrales au gaz naturel voire à quelques centrales au charbon et une forte accélération de la baisse des émissions de la transformation du charbon.
- Pour l'agriculture, la baisse observée (-0,6%) n'est pas liée à la crise du Covid-19 mais à la poursuite du recul du cheptel bovin ; à la diminution de l'azote minéral épandu (en lien avec des conditions de cultures défavorables en 2020), et dans une moindre mesure au recul de l'épandage d'urée.

En 2021 et 2022, un niveau inférieur à 2019 malgré le rebond post-crise

Les années 2021 et 2022 ont été marquées par le rebond des émissions lié à la reprise d'activités (principalement les transports, mais aussi l'industrie, le tertiaire…) à la suite de la crise du Covid-19 de 2020. L'effet de la rigueur météorologique a aussi joué, accentuant le rebond des émissions en 2021 (la hausse de 6% observée à climat réel, atteint +3% en prenant en compte des données énergétiques corrigées des variations climatiques), et l'atténuant en 2022 en particulier pour les émissions de chauffage des bâtiments résidentiels (les émissions corrigées des variations climatiques diminuent entre 2022 et 2021 de 1%, contre 4% pour les émissions calculées à climat réel). Enfin, la crise énergétique liée à l'invasion russe de l'Ukraine a aussi entrainé une consommation moindre de gaz naturel au cours de l'hiver 2022-2023.

On note un **fort rebond des émissions des transports**. Les émissions de GES de ce **secteur** sont en augmentation de 3,3% (+4,2 $MtCO_2e$) entre 2021 et 2022. Le transport routier explique la plus grande partie de celle-ci (+3,2 $MtCO_2e$), suivi par les autres secteurs des transports, principalement l'aérien (vols domestiques). Cette hausse correspond à la poursuite du rebond post-crise Covid, où ce secteur avait connu une chute en 2020 et un rebond important en 2021. Le niveau en 2022 (132 $MtCO_2e$) reste inférieur à celui de 2019 (134 $MtCO_2e$).

Pour l'industrie manufacturière, on observe en 2021 un rebond des émissions lié à la reprise d'activité post Covid (+8,8%, +0,6 $MtCO_2e$), suivi d'une baisse plus importante en 2022 (-8,7%, -1,3 $MtCO_2e$).

Dans le secteur des bâtiments résidentiels et tertiaires, on constate en 2021 une hausse des émissions (+3,7%) liée au rebond post-covid et, en

partie, à un climat plus rigoureux impactant le chauffage pour le résidentiel et le tertiaire. Les émissions de ce secteur chutent en 2022 par rapport de 2021 (-15%, avec -11,3 $MtCO_2e$). Ce secteur contribue le plus fortement à la baisse globale des émissions entre ces deux années, dans la continuité de la diminution des émissions observées depuis 2017, malgré la hausse temporaire en 2021.

La **production d'énergie** a connu une forte croissance des émissions de GES entre 2020 et 2021 (+2 $MtCO_2e$ soit +5%) et entre 2021 et 2022 (+1,1 Mt CO_2e soit +2,5%). L'indisponibilité de tranches nucléaires a eu un impact important sur les émissions de ce secteur. En 2022, une vingtaine de réacteurs étaient en effet à l'arrêt (29 réacteurs à l'arrêt sur 56 en mai 2022 par exemple). Ces arrêts ont généré un recours plus important aux centrales à gaz et un emploi temporaire au charbon avec la réouverture, le 28 novembre 2022, de la centrale de Saint-Avold, dans un contexte de hausse des prix du gaz suite à l'invasion russe de l'Ukraine. La consommation d'électricité a néanmoins été amoindrie en lien potentiel avec les appels à la sobriété énergétique.

Les émissions relatives au secteur agricoles sont aussi à la baisse sur la période (-0,9 Mt CO_2e entre 2020 et 2021, et - 3,5 $MtCO_2e$ entre 2021 et 2022). La réduction des émissions associée à l'élevage, en lien avec le recul du cheptel bovins, explique la principale tendance observée sur le secteur.

Poursuite de la dynamique de réduction en 2023

La dernière édition d'inventaire confirme la baisse des émissions de GES entre 2022 et 2023 pré-estimées dans l'édition précédente. Hors puits de carbone, les émissions de GES atteignent 376,1 Mt CO_2e en 2023, soit une baisse de 27,4 $MtCO_2e$ (-6,8%, contre -5,8% pré-estimé dans l'inventaire proxy) par rapport à l'année précédente. Cette évolution n'est pas un record mais reste historique : seconde baisse en relatif (-9,2% observé entre 2019 et 2020 lors de la crise Covid) et troisième en absolu (baisse de presque 33 Mt CO_2e entre 2013 et 2014), la plus importante observée depuis 1990.

Cette dynamique est par ailleurs constatée dans l'ensemble des secteurs (à des niveaux toutefois différents) : - 7,0 $MtCO_2e$ (-16,0%) pour l'industrie de l'énergie, -7,2 $MtCO_2e$ (-10,2%) pour l'industrie manufacturière, -6,9 $MtCO_2e$ (-10,7%) pour les bâtiments, -0,5 $MtCO_2e$ (-0,7%) pour l'agriculture et enfin -5,6 $MtCO_2e$ (-4,2%) pour les transports.

Cette réduction permet d'observer un niveau d'émissions de GES moyen de 406,3 $MtCO_2e$/an entre 2019 et 2023, nettement inférieur au budget carbone de 425 $MtCO_2e$/an proposé dans la SNBC-2 pour la période.

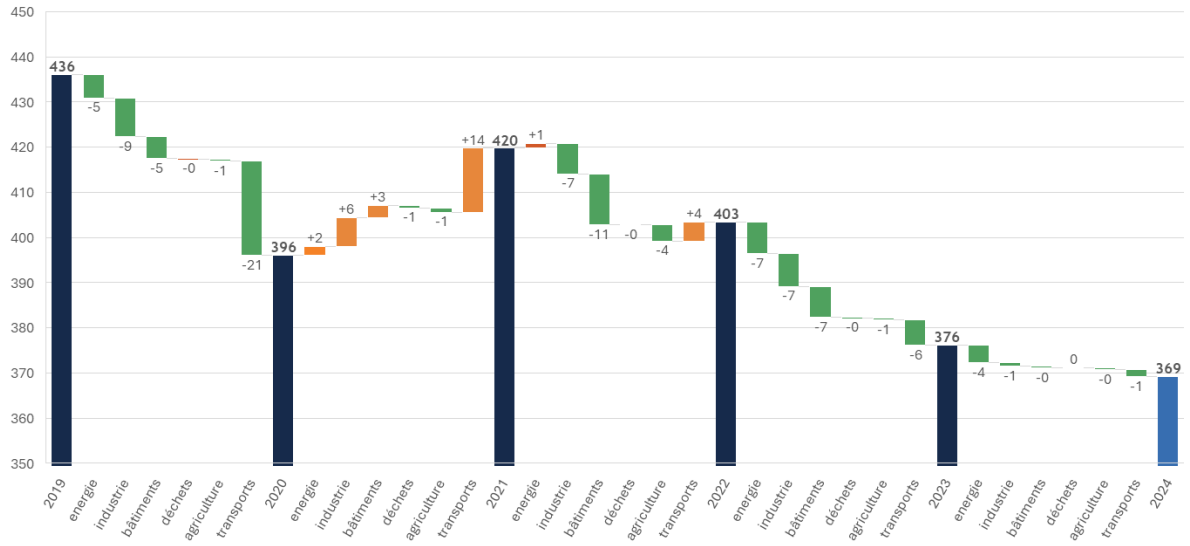
Pré-estimation 2024 : légère baisse par rapport à 2023

L'année 2024 a été pré-estimée à l'aide d'indicateurs et données déjà disponibles en début d'année. Certaines hypothèses conservatrices ont été appliquées en attendant de disposer de données complètes. Cette évolution sera donc consolidée dans la prochaine édition d'inventaire.

D'après cette approximation, les émissions territoriales de GES hors puits de carbone ont diminué de 1,8% (- 6,9 $MtCO_2e$) entre 2023 et 2024. Elles sont passées de 376 Mt CO_2e en 2023 à 369 $MtCO_2e$ en 2024, soit en dessous du niveau minimum record de 2020 (396 $MtCO_2e$). La dynamique de réduction est toutefois ralentie par rapport à celle observée l'année précédente, et notamment du fait d'une réduction plus faible des émissions dans les secteurs des bâtiments et des transports (secteurs prépondérants dans les émissions totales). En effet, après une baisse de presque 7 $MtCO_2e$ (-10,7%) entre 2022 et 2023, les émissions de GES associées à l'usage des bâtiments diminuent de seulement 0,4 $MtCO_2e$ (-0,7%) entre 2023 et 2024. Au regard des transports, le déclin de 5,6 $MtCO_2e$ (-4,2%) observé entre 2022 et 2023, atteint 1,5 $MtCO_2e$ (-1,2%) entre 2023 et 2024.

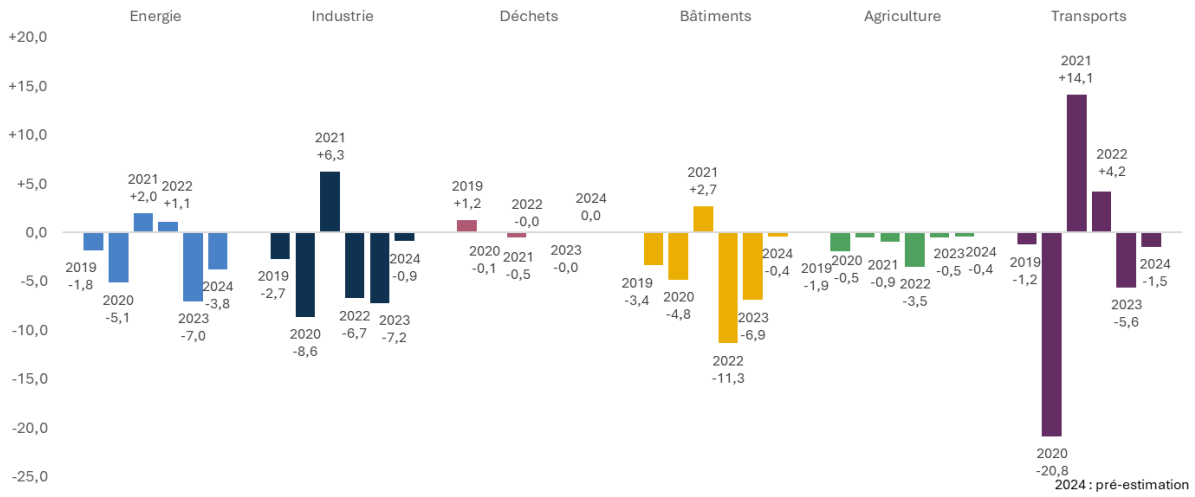
Ramenées au nombre d'habitants, elles passent de 5,5 tCO_2e/habitant à 5,4 t. Si l'on distingue gaz par gaz, les émissions de CO_2 hors UTCATF ont baissé, entre 2023 et 2024, de 6,1 Mt (-2,2%) ; celles de méthane (CH_4) de 903 $ktCO_2e$ (-1,5%) et celles de protoxyde d'azote (N_2O) ont, quant à elles augmenté de 71 $ktCO_2e$ (+0,3%).

A noter que l'évolution 2023-2024 du secteur des déchets (4% des émissions totales) et celle de l'UTCATF ne sont pas encore pré-estimées spécifiquement faute d'indicateurs fiables.

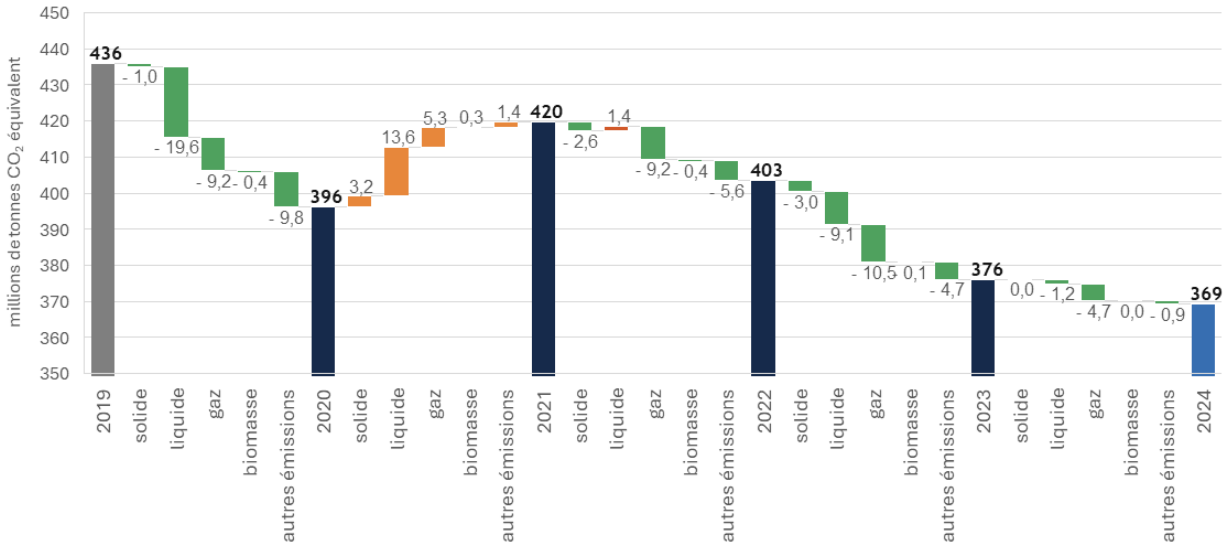


Changements de la distribution des émissions de CO_2e hors UTCATF par secteur en France (Métropole et Outre-mer UE) entre 2019 et 2024.

Avertissement : les évolutions nulles ou très faibles du secteur des déchets ne sont pas de réelles stagnations des émissions mais simplement liées au fait que l'évolution 2023-2024 n'est pas encore estimée pour ce secteur. Une valeur consolidée des émissions de ce secteur sera fournie dans le prochain rapport Secten.



Comparaison des évolutions interannuelles entre 2019 et 2024 (en Mt CO_2e)



Changements de la distribution des émissions de CO_2e hors UTCATF par type de combustible en France (Métropole et Outre-mer UE) entre 2019 et 2024

Analyse par combustible

Comme le montre le graphique ci-dessus, la majorité de la baisse des émissions entre 2019 et 2020, est liée à l'usage des combustibles fossiles : 75% de la baisse est expliquée par une moindre consommation de combustibles fossiles, et notamment des combustibles liquides (essence, fioul, gazole) en lien avec la chute des émissions associées au transport constatée lors de la crise Covid. En 2021, ce sont ces combustibles liquides qui sont de nouveau en hausse, en particulier liés au rebond du transport routier, expliquant la majeure partie de l'augmentation des émissions de cette année.

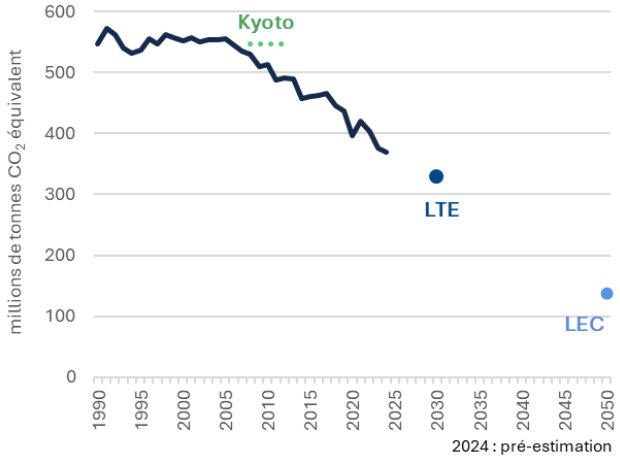
En 2022 et en 2023, parmi tous les types de combustibles, c'est le gaz fossile qui est à l'origine des plus grandes réductions d'émissions de gaz à effet de serre, dans un contexte de crise énergétique et de hausse des prix du gaz après l'invasion russe de l'Ukraine.

Pour **2024, la diminution des émissions est principalement expliquée par la moindre consommation de gaz** et notamment dans le secteur de la production d'électricité.

Atteinte des objectifs

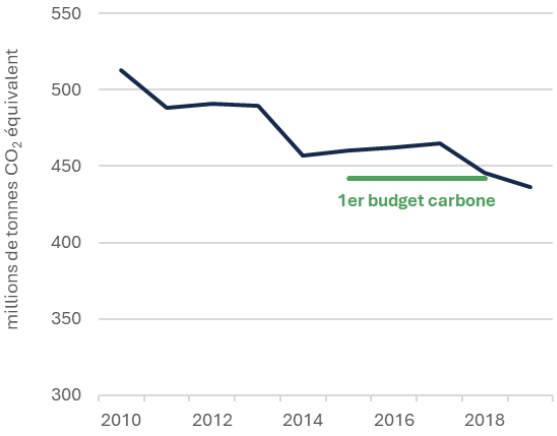
Protocole de Kyoto

Dans le cadre du Protocole de Kyoto, la France devait stabiliser, sur la période 2008-2012 (première période d'engagement), ses émissions de GES au niveau de 1990, soit un budget cumulé sur la période de 2 735 $MtCO_2e$ (547 $MtCO_2e$ en moyenne par an). Les émissions réelles cumulées sur la période s'élevant à 2 530 $MtCO_2e$ (506 $MtCO_2e$ en moyenne par an), cet objectif a été atteint. Dans le cadre de la 2e période du Protocole de Kyoto (2013-2020), seul un objectif collectif de l'UE a été défini : -20% par rapport à 1990. Cet objectif atteint est détaillé, au niveau des Etats-membres, dans le cadre de la politique climat de l'UE.



SNBC-1 : 1er budget carbone (2015-2018)

La hausse temporaire des émissions de GES entre 2015 et 2017 avait entrainé le non-respect du premier budget carbone défini par la SNBC-1.



Dépassement du 1er budget carbone

Le budget carbone de la SNBC-1 ajusté, hors puits de carbone, s'élevait à 441 Mt CO_2e/an sur la période 2015-2018. Or, les émissions se sont élevées à 452 Mt CO_2e/an en moyenne, soit un dépassement moyen de 10,6 MtCO_2e.

Dans ce contexte, « l'Affaire du siècle », est une action en justice portée par des ONG depuis mars 2019, mettant l'Etat en cause pour inaction climatique, en particulier concernant le non-respect du premier budget carbone (2015-2018) de la SNBC-1. Une première audience s'était tenue en janvier 2021, à la suite de laquelle un premier jugement avait été rendu le 3 février 2021. Le 30 septembre 2021 s'est tenue une deuxième audience à l'occasion de laquelle le tribunal a ordonné à l'Etat de compenser le dépassement du budget carbone de la SNBC-1 avant fin 2022.

Dans le cadre de l'affaire dite « Grande Synthe », c'est-à-dire les suites judiciaires données à la requête déposée fin 2018 par la commune de Grande-Synthe (Nord) contre le Gouvernement au motif de l'insuffisance des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) mises en œuvre pour respecter les objectifs nationaux de la France à l'horizon 2030, une décision inédite avait été rendue le 1er juillet 2021 par le Conseil d'Etat. Celui-ci faisait droit à la demande des requérants et enjoignait au Premier Ministre de prendre toutes mesures utiles avant le 31 mars 2022 pour infléchir la courbe des émissions de GES produites sur le territoire national afin d'assurer sa compatibilité avec les objectifs à horizon 2030 (objectif de réduction de 12% sur la période 2024-2028 dans le cadre de la SNBC-2 ; objectif -40% pour les émissions totales hors UTCATF ; objectif assigné à la France de -37% (base 2005) pour les secteurs hors SEQE fixé par le règlement dit ESR n°2018/842).

Au terme de ce délai, le Conseil d'Etat avait la possibilité de décider de prononcer une astreinte (amende) à l'encontre de l'Etat. Le 4 mai 2022, le Gouvernement avait publié une synthèse de sa réponse au Conseil d'État dans le cadre de cette procédure, où il indique avoir transmis un mémoire au Conseil d'État détaillant l'ensemble des mesures prises depuis juillet 2021 (date de la décision du Conseil d'Etat).

Sur la base de l'ensemble de ces arguments, **le Conseil d'Etat conclut que sa précédente décision du 1er juillet 2021 ne peut être considérée comme ayant été exécutée**. Il adresse une nouvelle injonction au Gouvernement, en enjoignant la Première Ministre de prendre **toutes les mesures supplémentaires** utiles pour rendre compatible le rythme de diminution réelle des émissions de GES avec la trajectoire de réduction de ces émissions fixée par les budgets carbone (via le décret n° 2020-457 du 21 avril 2020) en vue d'atteindre les objectifs de réduction fixés pour 2030 et ce, avant le **30 juin 2024**.

Le Conseil d'Etat demande ainsi à la Première Ministre également de produire, pour le **31 décembre 2023**, puis au plus tard le **30 juin 2024**, un bilan d'étape détaillant ces mesures et leur efficacité, c'est-à-dire qu'elles soient de nature à permettre le respect des objectifs de réduction des émissions de GES fixés pour 2030.

SNBC-2 : 2e budget carbone (2019-2023)

Le budget carbone couvrant la période 2019-2023 en vigueur devrait être respecté. Si l'on prend le total hors puits de carbone **406 MtCO_2e/an de GES ont été émis en moyenne contre un budget ajusté[28] de 425 MtCO_2e/an**, en prenant en compte l'UTCATF, le budget ajusté de 380 Mt CO_2e/an est lui aussi au-dessus des émissions constatées de 370 MtCO_2e en moyenne par an. Dans le détail, les émissions moyennes sur la période 2019-2023 sont, pour tous les secteurs à l'exception des déchets et de l'UTCATF, en dessous du budget fixé par la SNBC-2. Les émissions de GES pour

[28] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten 2025).

le secteur des déchets s'élèvent en moyenne à 16 $MtCO_2e$ /an, pour un budget de 14 $MtCO_2e$ /an. Pour l'UTCATF, l'objectif d'absorption de 45 $MtCO_2e$/an est au-delà de l'absorption constatée avec en moyenne un niveau d'absorption de 36 $MtCO_2e$/an.

SNBC-3 : mise à jour des ambitions climatiques

Dans le triple contexte de la hausse de l'ambition à l'échelle européenne pour 2030, des contentieux juridiques (Affaire du Siècle, Affaire Grande-Synthe) et de la crise énergétique de 2022, la révision des objectifs est fortement attendue. Le **projet de la nouvelle Stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC) a ainsi été publié et mis en concertation en fin d'année 2024**. La SFEC, regroupe la loi de programmation énergie-climat (LPEC) qui devait initialement être adoptée avant le 1er juillet 2023 ; la mise à jour de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) dont la 3e version (SNBC 3) ; la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ; et le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC).

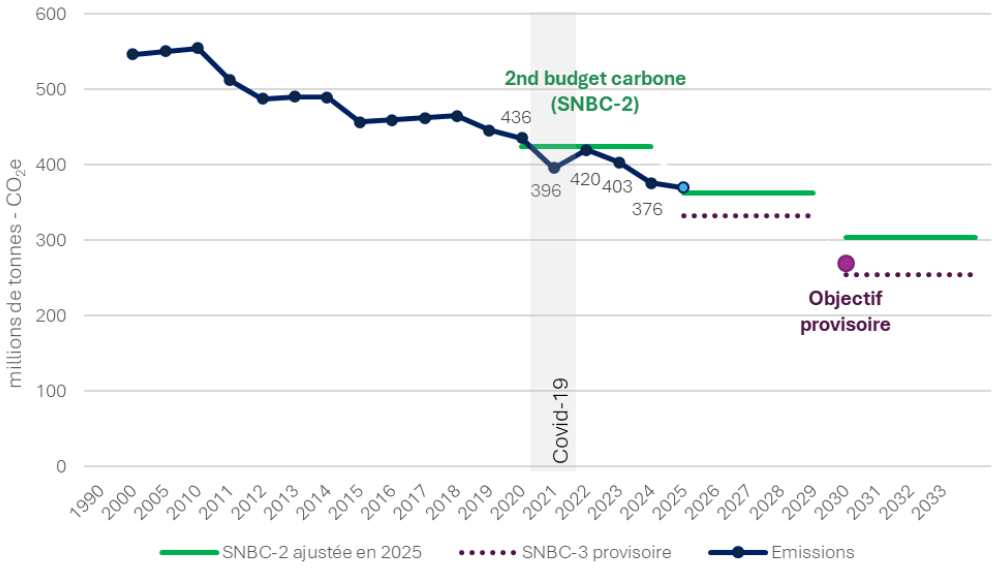
Cette stratégie constituera une feuille de route actualisée de la France pour atteindre la neutralité carbone en 2050, et notamment réactualiser les budgets carbone de la SNBC pour tenir compte du nouvel objectif collectif de l'UE de réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre de 55% entre 1990 et 2030.

Le **projet de SNBC-3, propose ainsi une mise à jour de l'objectif national de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 50% d'ici 2030** (par rapport à 1990 - soit d'atteindre une cible autour de 270 $MtCO_2e$), contre 40% précédemment. Pour tenir ces objectifs, la France devra désormais baisser ses émissions de gaz à effet de serre de 5% chaque année entre 2022 et 2030, contre 2% de réduction annuelle en moyenne entre 2017 et 2022.

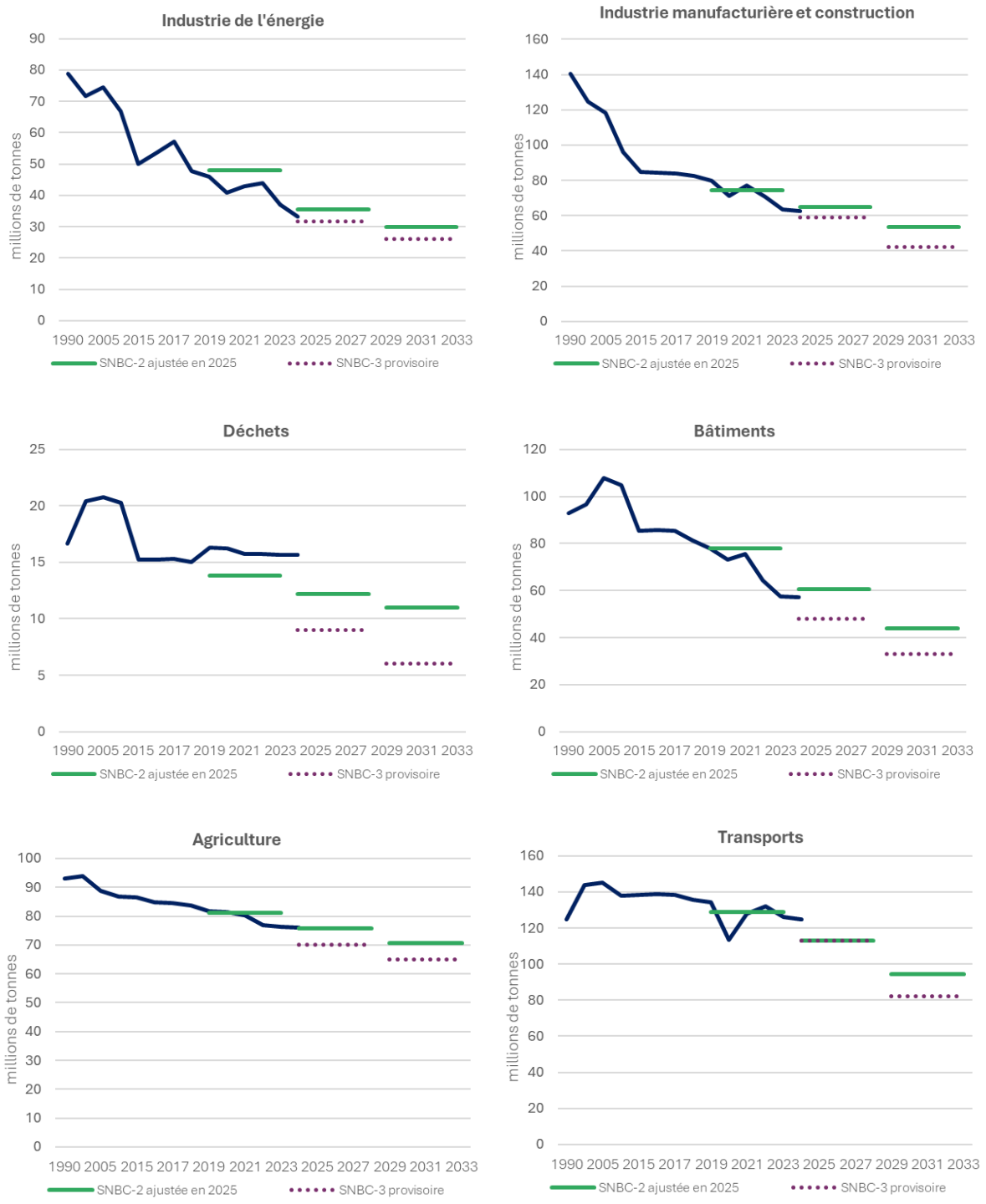
Il s'agit d'un objectif visant les émissions brutes (hors puits de carbone). Le puits de carbone, correspondant au secteur de l'utilisation des terres, des changements d'affectation des terres et de la forêt (UTCATF), est considéré à part du fait de ses spécificités et de son incertitude.

Pour atteindre cet objectif global, le projet propose une déclinaison de l'effort, en absolu et en relatif, entre les différents secteurs ainsi que les différentes orientations sectorielles associées.

Elle indique ainsi une réduction, entre 1990 et 2030, de 68% pour le secteur de l'industrie, de 65% pour la production d'énergie, de 57% pour les déchets, de 62% pour les bâtiments, de 27% pour les transports et de 25% pour l'agriculture. Les puits de carbone sont modélisés en 2030 à un niveau similaire au niveau actuel (-19 $MtCO_2$ contre -18$MtCO_2$ en 2022).



Emissions de GES hors puits de carbone et budgets carbone (SNBC-2 et SNBC-3 provisoire) en $MtCO_2e$



Déclinaison des budgets carbone par grand secteur

Ambition 2050 : vers la neutralité carbone

L'objectif fixé dans la Stratégie nationale bas carbone est d'atteindre la neutralité carbone en 2050, conformément à l'article 4 de l'Accord de Paris (voir le chapitre Politique et Règlementation), c'est-à-dire que les émissions soient intégralement compensées par les absorptions (puits de carbone du secteur UTCATF et technologies de captage et stockage du carbone). Actuellement, le puits de carbone UTCATF compense l'équivalent de 10% des émissions : l'objectif étant d'arriver à 100% en 2050. Par ailleurs, si les émissions baissent, le puits de carbone, lui, ne montre pas une forte tendance à la hausse sur les dernières années. Etant donné les limites des puits dans le sol et la biomasse du secteur UTCATF (limites biophysiques, limites en surfaces, non-permanence) ainsi que les incertitudes concernant le déploiement à grande échelle des techniques de captage artificiel du carbone, cet objectif implique nécessairement une réduction massive des émissions dans tous les secteurs.

Situation mondiale

Le PNUE a publié le 24 octobre la 15ème édition de son rapport annuel (*Emissions Gap Report*) sur l'écart entre le niveau d'émissions de gaz à effet de serre (GES) mondiales prévues et le niveau nécessaire pour limiter le changement climatique.

Le PNUE indique que les émissions mondiales de GES ont augmenté de **+1,3%** entre 2022 et 2023, pour atteindre un nouveau record de **57,1 GtCO$_2$e**.

En dépit des appels à élever les objectifs pour 2030 issues des trois dernières COP, seul un pays a fixé des objectifs plus ambitieux depuis la COP 28. Dans le cadre actuel, les émissions mondiales devraient atteindre un total de 57 GtCO$_2$e à l'horizon 2030.

CO_2 | Dioxyde de carbone

Définition
Le dioxyde de carbone (CO_2) est un gaz incolore et inodore, principal gaz à effet de serre (GES), présent à l'état naturel mais dont les concentrations dans l'atmosphère croissent fortement avec les activités humaines. Sa durée de vie dans l'atmosphère est d'environ 100 ans.

Composition chimique
Un atome de carbone (C) et deux atomes d'oxygène (O).

Origine
Sources anthropiques : combustion de combustibles dans la production d'électricité et de chaleur, l'industrie, les transports, le résidentiel-tertiaire et le traitement des déchets.

Sources naturelles : volcans, respiration des êtres vivants, feux de forêts, décomposition de la matière organique…

Puits : réservoirs naturels ou artificiels de carbone (océans, forêts, sols).

Phénomènes associés
Le CO_2 est le principal contributeur aux émissions de gaz à effet de serre en France et dans le monde. C'est ainsi le principal contributeur à l'augmentation des températures moyennes mondiales de surface. Entre la période préindustrielle (1850-1900) et la période récente (2010-2019), c'est la hausse des concentrations de CO_2 qui a contribué le plus au réchauffement (+0,8 [0.5 - 1.2] °C sur un réchauffement induit par l'ensemble de GES de +1°C à +2°C). En tenant compte d'autres facteurs (effet refroidissant des aérosols, activité solaire, volcanisme), le réchauffement total est de +1,07 [0,8 – 1,3]°C (GIEC, AR6, SYR, SPM, A.1.2). Outre sa contribution aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre, le CO_2 a aussi un impact sur l'acidification des océans et donc la biodiversité marine. Si la hausse des concentrations de CO_2 peut augmenter la productivité de la végétation (effet dit « fertilisant »), celle-ci est surtout impactée négativement par les effets du changement climatiques (sécheresses, hausses des températures, feux…).

Effets

Acidification

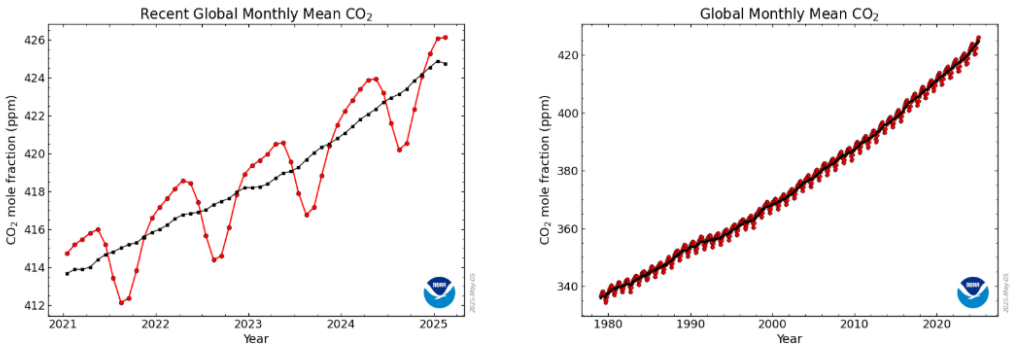
Effet de serre

Santé (à forte dose : malaises, maux de tête et asphyxies par remplacement de l'oxygène de l'air)

Enjeux

Effets environnementaux

Le CO_2 (dioxyde de carbone) est notamment émis lors de la combustion de combustibles fossiles, mais il est aussi au cœur du cycle du carbone entre biosphère et atmosphère. C'est le principal gaz à effet de serre (voir section générale en début de chapitre). En tant que tel, l'évolution de sa concentration dans l'atmosphère est suivie de près. Ses concentrations sont en hausse constante et atteignent aujourd'hui les niveaux les plus élevés jamais enregistrés depuis l'époque préindustrielle, avec 426,1 parties par million (ppm) en moyenne mensuelle atteints en février 2025.



Recent global monthly means *Global monthly means since 1980*

Augmentation des concentrations mondiales de CO_2 en moyenne mondiales, de 2021 à avril 2025 (à gauche) et depuis 1980 (à droite), mesurées sur les sites de Mauna Loa et Maunakea. Les variations mensuelles sont liées au cycle saisonnier de la photosynthèse des plantes.
Source : NOAA

Objectifs

La plupart des objectifs de réduction des émissions, dans le monde, dans l'UE et en France, visent tous les gaz à effet de serre, et non uniquement le CO_2 (voir section CO_2e). Néanmoins, le CO_2, principal gaz à effet de serre émis, est particulièrement visé, et parfois ciblé directement, notamment la part liée aux combustibles fossiles.

Au niveau international

D'après le dernier rapport d'évaluation du GIEC (2023), dans les trajectoires modélisées qui limitent le réchauffement à +2°C, les émissions nettes mondiales de CO_2 doivent baisser de 20% [11-46%] entre 2019 et 2030 et de 52% [36-70%] entre 2019 et 2040. Dans les trajectoires qui limitent le réchauffement à +1,5°C avec un dépassement (*overshoot*) nul ou limité, les émissions nettes mondiales de CO_2 doivent baisser de 48% [36-69%] entre 2019 et 2030 et de 80% [61-109%] entre 2019 et 2040.

Au niveau de l'UE

Les objectifs de réduction d'émissions (horizons 2020, 2030, 2040) de l'UE sont exprimés pour l'ensemble des gaz à effet de serre, et non pour le CO_2 uniquement, même s'il s'agit du principal gaz à effet de serre émis dans l'UE. La majorité des émissions couvertes dans le cadre du système d'échange de quotas d'émissions (SEQE ou EU-ETS) sont des émissions de CO_2. Par ailleurs, des objectifs de développement des puits de carbone et des technologies de captage et stockage de carbone ont été définis. *Voir chapitre Politique Climat, section UE*.

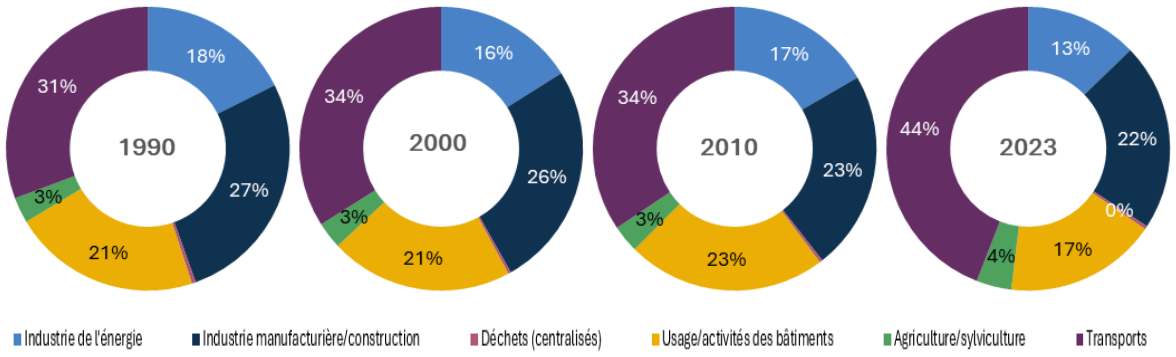
Au niveau national

Au niveau national, la Stratégie Nationale Bas-carbone (SNBC) décline les objectifs de réduction d'émissions par gaz à effet de serre. Ainsi, dans la SNBC-1, le premier budget carbone (2015-2018) s'élevait à 323 Mt CO_2 (hors UTCATF). Dans la SNBC-2, les budgets carbone ajustés (hors UTCATF) s'élèvent à 316 Mt (2019-2023), 266 Mt (2024-2028) et 216 Mt (2029-2033). Dans le projet en consultation, la SNBC- 3 propose des objectifs plus ambitieux avec des budgets (hors UTCATF) à hauteur de 251 Mt (2024-2028) et 182 Mt (2029-2033).

A noter

Sauf indication contraire, les émissions de CO_2 présentées dans cette section sont au périmètre France métropolitaine et Outre-mer inclus dans l'UE. Les données détaillées associées à ce rapport présentent aussi les émissions au niveau de la France métropolitaine uniquement, et depuis 1960.

Principaux secteurs émetteurs



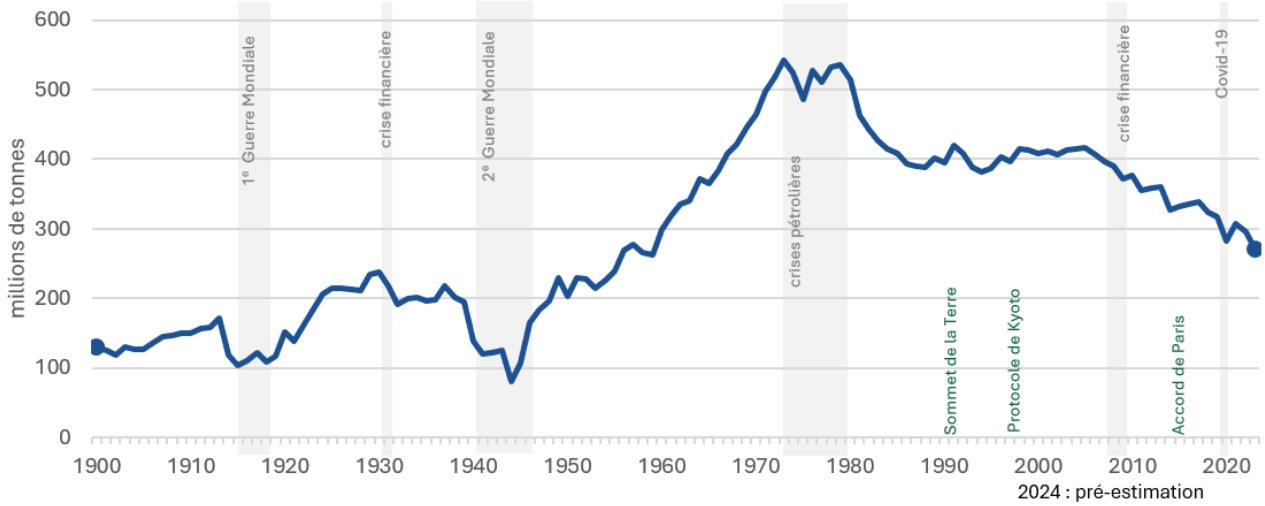
Répartition des émissions de CO_2 en France

Tendance générale

Analyse de la tendance depuis 1960 (métropole uniquement)

Le calcul des émissions de CO_2 pour le périmètre France métropolitaine uniquement, remonte à 1960. Grâce aux travaux du Global Carbon Project (Friedlingstein et al. 2024) il est possible de remonter plus loin encore dans le temps, jusqu'à 1800 environ, où les émissions sont estimées à environ 2 Mt CO_2/an, augmentant jusqu'à environ 20 Mt CO_2/an en 1850 pour ensuite atteindre rapidement 100 Mt à la fin du XIXe siècle. Entre 1900 et 1950, si l'on omet les deux guerres mondiales, la hausse des émissions reste modérée, passant d'environ 100 Mt CO_2/an à environ 200 Mt CO_2/an. Des années 1950 jusqu'aux années 1970, une hausse beaucoup plus rapide a eu lieu, passant de 200 MtCO_2/an à plus de 500 Mt CO_2/an (pic : 539 Mt CO_2 en 1973). Ainsi on constate que le niveau actuel est comparable au niveau des années 1960. Atteindre moins de 100 Mt en 2050 équivaut à atteindre un niveau antérieur à 1900.

L'évolution générale des émissions depuis 1960 reflète surtout des évolutions relatives à **l'utilisation de l'énergie** en France.



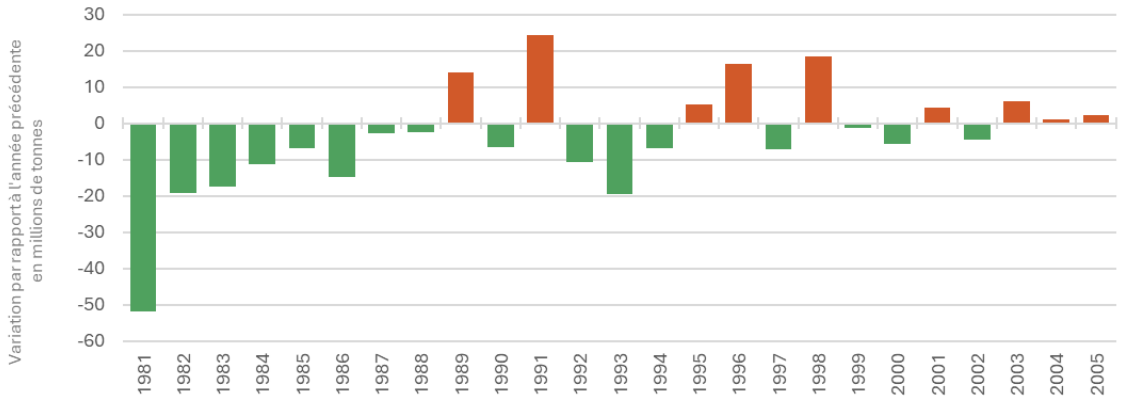
Emissions brutes (total hors UTCATF) de CO_2 en France métropolitaine.
Sources : 1900-1959 : **Friedlingstein et al. 2024**; 1960-2023 : Citepa, Secten éd. 2025

1960-2004

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les émissions brutes de CO_2 en France métropolitaine ont augmenté très fortement (généralement +15 à +20 Mt par an), en lien avec la hausse de consommation des combustibles fossiles, jusqu'à atteindre un pic et un plateau au milieu des années 1970, marquées par les chocs pétroliers (baisse de 18 Mt des émissions en 1974, 39 Mt en 1975). Ainsi, 1973 est l'année du pic des émissions brutes de CO_2 en France (539 Mt CO_2).

Sur la période 1980-1986, les émissions ont baissé rapidement (-20 Mt/an en moyenne, soit -4,4%/an en moyenne), principalement par des réductions d'émissions dans le secteur Energie (mise en place du parc nucléaire) et Industrie (économies d'énergie, réglementations), malgré des émissions des transports et de l'agriculture à la hausse.

Sur la période 1989-2004, les émissions des secteurs de l'énergie, de l'industrie et du résidentiel-tertiaire étant plutôt stables, et les émissions du transport et de l'agriculture à la hausse, les émissions brutes totales de CO_2 ont connu une légère hausse (+1,6 Mt/an en moyenne, soit +0,5%/an), avec de fortes variations interannuelles.



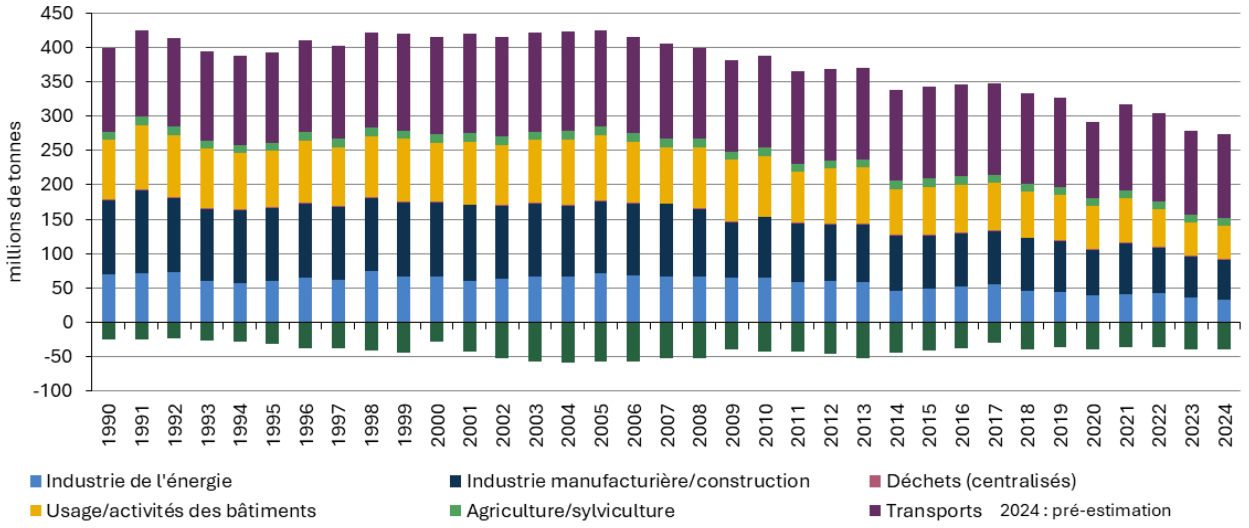
Variation interannuelle **1981-2005** des émissions de CO_2 en France (Métropole)

2005-2019

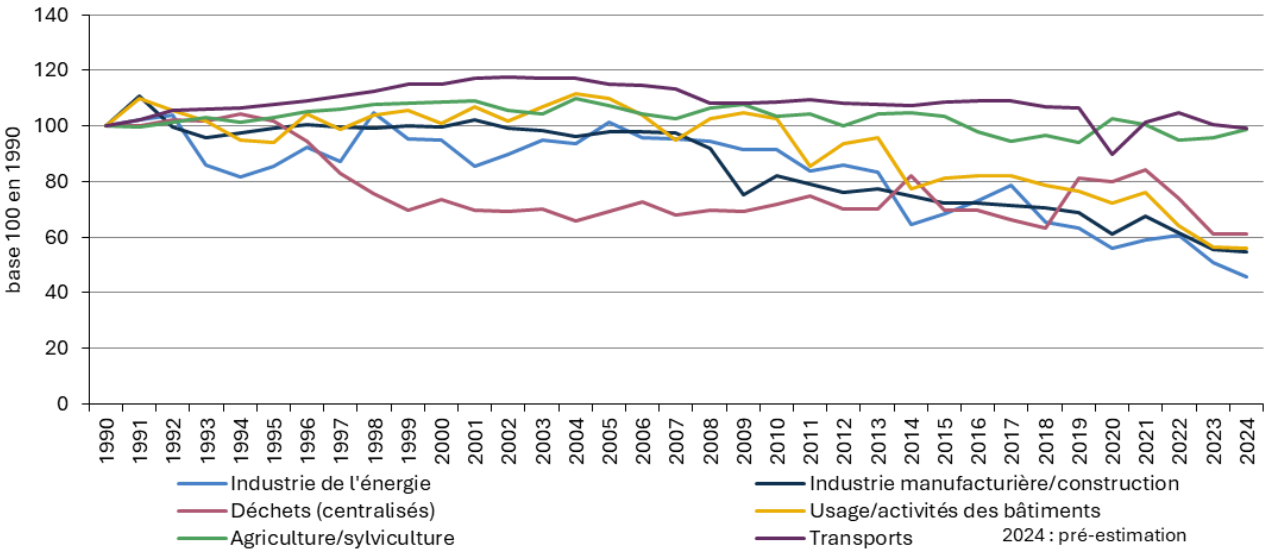
Sur la période 2005-2019, les émissions brutes de CO_2 dessinent une tendance générale à la baisse (-1,7% en moyenne sur la période), avec une alternance de périodes en hausse et en baisse, marquées notamment par des facteurs conjoncturels, par exemple une faible rigueur hivernale en 2011 et en 2014, ou l'effet de crises économiques comme en 2008-2009. Ainsi, les émissions de CO_2 ont fortement baissé entre 2008 et 2009 (-18 Mt, -4,7%), entre 2010 et 2011 (-22 Mt, -5,8%) et entre 2017 et 2018 (-15 Mt, -4,5%) et ont légèrement augmenté en 2010, de 2012 à 2013, et de 2015 à 2017.

Analyse de la tendance depuis 1990 (Métropole et outre-mer UE)

Les émissions totales de CO_2 (hors UTCATF) en France métropolitaine et Outre-mer inclus dans l'UE s'élevaient à environ 410 Mt /an des années 1990 jusqu'au milieu des années 2000, avec une légère tendance à la hausse entre 1994 et 2005, passant de 388 Mt à 426 Mt/an, soit +0,8%/an en moyenne. A partir de 2005, cette tendance s'inverse. Malgré des périodes où les émissions ont stagné voire ont de nouveau augmenté, la tendance entre 2005 et 2024 est une baisse moyenne d'environ -2,2%/an.



Evolution des émissions dans l'air de CO_2 depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air de CO_2 en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Évolution récente

La période récente, 2020-2023 est marquée à la fois par des effets conjoncturels forts : l'impact de la crise sanitaire du Covid-19, l'effet rebond post-crise, la crise énergétique, la douceur des hivers en 2020, 2022 et 2023. Ainsi, les émissions brutes de CO_2, incluant les territoires d'Outre-mer inclus dans l'UE, ont connu une baisse très forte en 2020 (-11%) suivi d'un rebond partiel en 2021 (+8,9%) et des baisses en 2022 (-3,8%) et 2023 (-8,4%).

Au-delà de ces effets de court terme, on observe une continuation de la tendance générale à la baisse observée depuis 2005 : les émissions brutes de CO_2 sont passées de 326,7 Mt en 2019 à 279,4 Mt en 2023, soit -47,3Mt, l'équivalent de -11,8 Mt/an ou -3,5% an en moyenne.

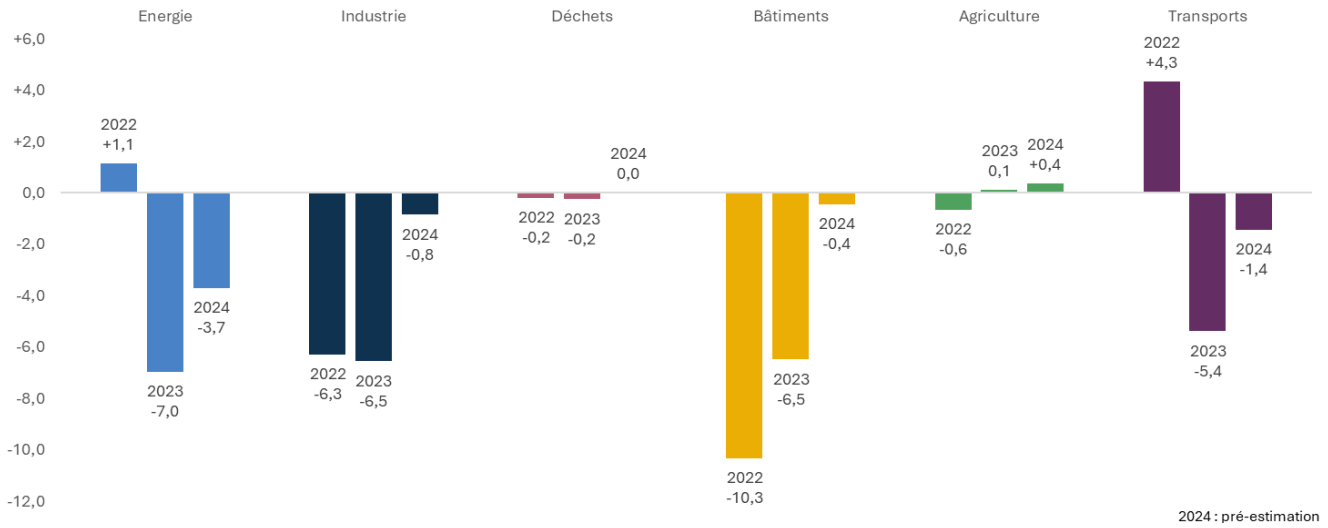
Les émissions brutes de CO_2 avaient baissé de 3,8% entre 2021 et 2022, en particulier avec une forte baisse dans le secteur des bâtiments (-10,3 Mt, soit -16%) et de l'industrie (-6,3 Mt, soit -8,7%), et malgré des hausses dans les secteurs des transports (+3,5%) et de la production d'énergie (+2,7%) en lien avec une faible disponibilité des centrales nucléaires.

En 2023, la baisse a été beaucoup plus importante. On observe une réduction de 8,4% des émissions de CO_2, avec cette fois-ci une contribution de tous les grands secteurs à la baisse, et en particulier la production d'énergie (-16%), l'industrie (-10%) et les bâtiments (- 12%).

La tendance est toujours à la baisse pour 2024. Les émissions sont estimées en diminution par rapport à 2023 mais de façon moins importante que l'année précédente. Les émissions de CO_2 atteignent 273 Mt en 2024, soit une baisse de 6,1 Mt, portée en grande partie par le secteur de l'énergie (-3,7 Mt, soit une contribution de 60% à la baisse totale). Le secteur des bâtiments accuse une réduction de seulement 0,9% (contre une décroissance moyenne de 13,8%/an pour 2022 et 2023)

La difficulté réside dans le secteur UTCATF qui ne parvient pas à maintenir un puits de carbone aussi important que prévu, du fait de la fragilisation des forêts face aux sécheresses répétées, attaques parasitaires, feux, et hausses des récoltes de bois (voir le chapitre UTCATF). Le puits net de CO_2 de ce secteur est passé de presque -50 Mt dans les années 2000 à - 37 Mt en moyenne dans les années 2019 à 2023.

L'enjeu désormais est de parvenir à maintenir une dynamique de baisse rapide et pérenne, afin de s'inscrire en conformité avec la trajectoire de décarbonation de l'économie dessinée par la SNBC et par l'Union européenne.



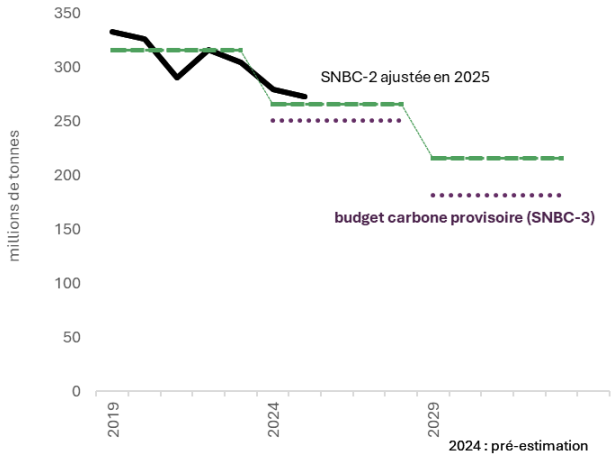
Evolution interannuelle des émissions de CO_2 en 2022, 2023 et 2024, par secteur

Objectifs

Au niveau national, la Stratégie Nationale Bas-carbone (SNBC) décline les objectifs de réduction d'émissions par gaz à effet de serre. Ainsi, le premier budget carbone (2015-2018), fixait un objectif de 323 Mt CO_2 (hors UTCATF). Avec des émissions de 341 Mt CO_2 en moyenne sur 2015-2018, cet objectif n'avait pas été respecté.

Le 2e budget carbone (2019-2023) fixé en 2020 par la révision de la SNBC (SNBC-2) et réajusté par le Citepa dans cette nouvelle édition Secten, s'élève à 316 Mt CO_2 (hors UTCATF) en moyenne sur la période. Les émissions réelles sont en moyenne sur la période 2019-2023 de 304 Mt CO_2, ce qui est inférieur au budget fixé. Ce budget sera évalué par le HCC dans son rapport annuel.

Pour le 3e budget carbone (2024-2028), la prochaine SNBC dans sa version provisoire défini un objectif plus ambitieux avec une moyenne de 251 Mt/an (contre 266 Mt/an pour la SNBC-2 actuelle).



Emissions de CO_2 et 2e, 3e et 4e budgets carbone (SNBC-2)

Captage et stockage de CO_2

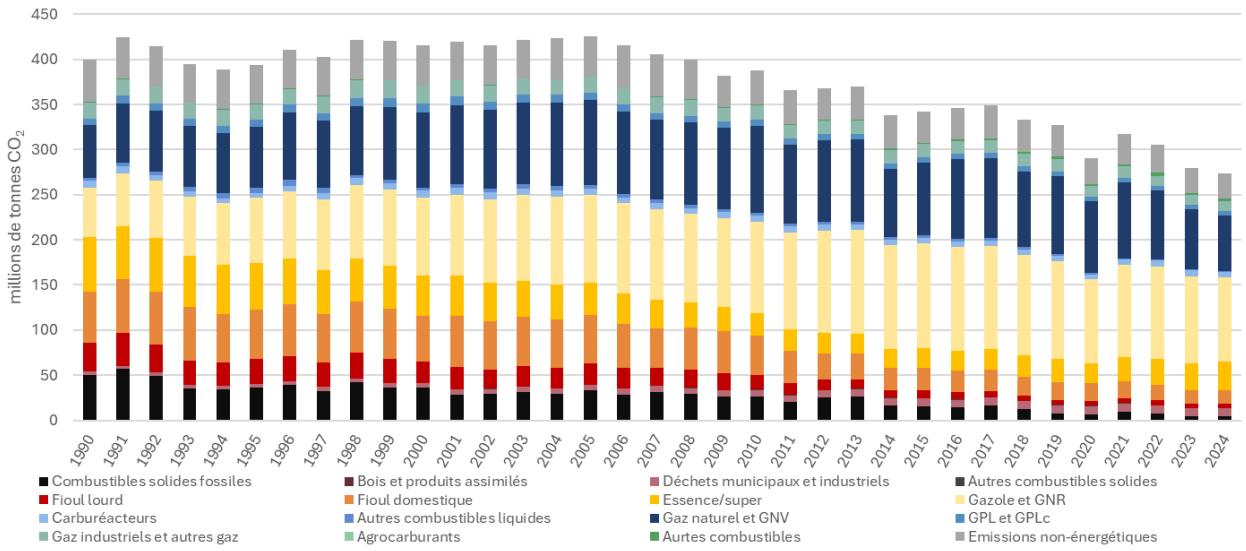
Compte tenu de l'importance d'accélérer la réduction des émissions nettes, et la difficulté d'augmenter les puits de carbone du secteur UTCATF, de nouveaux objectifs pour favoriser les solutions de séquestration du CO_2 dans la biomasse, les sols, ou via des technologies de captage et stockage, se développent. Au niveau de l'UE, La Commission européenne a mené entre le 8 juin 2023 et le 31 août 2023 une consultation publique sur le captage, le stockage et l'utilisation du CO_2 (CCUS en anglais) en vue d'élaborer une stratégie pour la gestion industrielle du CO_2 qui visera à créer un marché unique des services de transport et de stockage du CO_2. La Commission envisage de proposer des objectifs chiffrés en matière d'infrastructures de stockage pour 2040 et 2050 afin de réduire les risques et de mieux orienter les investissements en faveur du marché émergent des solutions de gestion industrielle du CO_2.

Au niveau français, la SNBC-2 prévoyait déjà un recours progressif au captage et stockage de CO_2 entre 2030 et 2050. Certaines technologies sont envisagées dans la SNBC-3 mais le développement de ces dernières devrait rester limité à l'horizon 2050.

Part des émissions liée aux combustibles

Dans les années 1990, les émissions de CO_2 liées aux combustibles traduisent la diversité du mix énergétique de l'époque : combustibles solides tels que le charbon, fioul domestique, essence et gaz naturel sont à des niveaux comparables (autour de 50 Mt CO_2 chacun environ). Dans les années récentes, seuls le gazole,le gaz naturel et dans une moindre mesure l'essence dominent. De plus, les émissions de CO_2 dues à l'utilisation énergétique de la biomasse ont fortement augmenté entre depuis 1990 pour trois raisons principales :

- la prise en compte de la consommation d'agro-carburants depuis l'année 1992,
- l'augmentation de la quantité de déchets incinérés (dont une partie est d'origine biomasse) avec récupération d'énergie,
- l'augmentation de la consommation de bois dans le secteur résidentiel et de liqueur noire dans le secteur industriel.



Répartition des émissions de CO_2 hors UTCATF par combustible en France (Métropole et Outre-mer UE)

CO_2 de la biomasse énergie

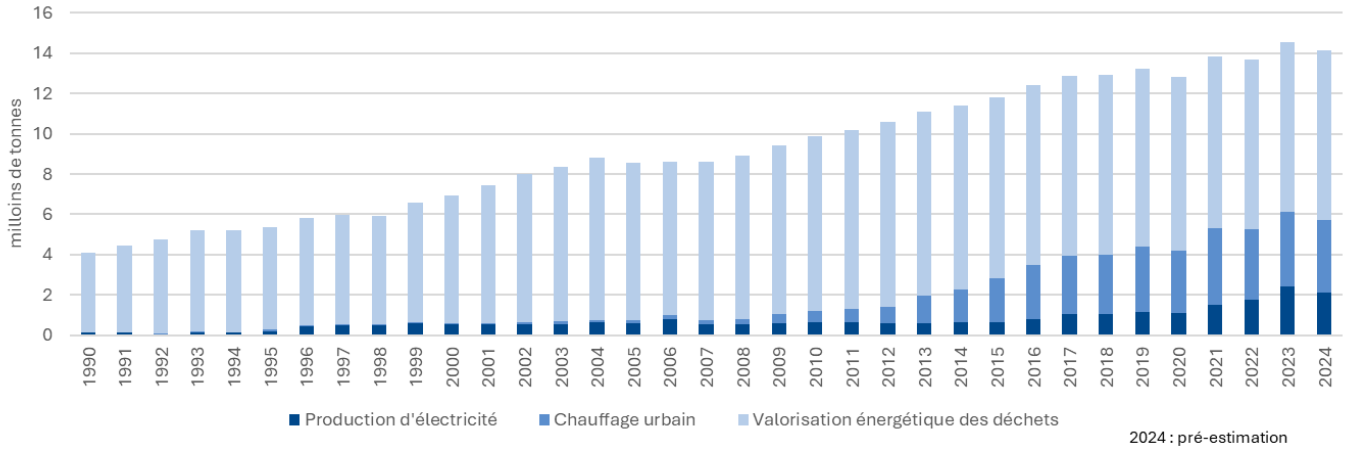
La combustion de la biomasse (quelle qu'elle soit) émet du CO_2. Néanmoins, il existe des différences de traitement dans les inventaires selon le type de biomasse considéré. On distingue ainsi la biomasse de cycle court, par exemple les pailles des céréales, et la biomasse de cycle long, typiquement le bois (matériau ligneux).

Pour la biomasse de cycle court, les émissions de CO_2 ne sont pas rapportées dans les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre, car il est considéré que le cycle du carbone n'est pas fortement modifié par la combustion. En effet, lorsqu'un blé croît, il capte du carbone atmosphérique pour constituer sa propre biomasse. Si les pailles sont brûlées, le carbone est libéré par la combustion. Si elles ne sont pas brûlées, le carbone est également libéré après dégradation de la paille ou consommation par les animaux. Il serait possible de faire un bilan entre la croissance des plantes et la libération de ce carbone dans l'atmosphère par combustion ou dégradation mais le retour à l'atmosphère du carbone n'est pas fortement accéléré par la combustion. Sur un bilan annuel, il a été décidé de considérer que les quantités de carbone libérées sont équivalentes aux quantités captées pour la biomasse de cycle court. Une hypothèse de neutralité est appliquée pour la biomasse de cycle court.

Pour la biomasse de cycle long, comme le bois, la situation est différente car il peut y avoir un écart important sur un territoire donné entre les quantités de carbone capté par des surfaces boisées et les quantités de carbone émises (ou exportées). Lorsque les quantités de carbone captées par les surfaces boisées sont plus importantes que les quantités libérées, le stock de carbone dans la biomasse du territoire augmente et constitue ce qu'on appelle un « puits de carbone ». Inversement, des territoires peuvent déstocker du carbone accumulé depuis des décennies voire des siècles, ces territoires constituent alors des « sources de carbone ». C'est sous cet angle qu'est considéré, dans le cadre des inventaires, le carbone contenu dans la biomasse. Et c'est pour cette raison qu'à la fois les émissions et les absorptions de CO_2biomasse sont rapportées sous le secteur UTCATF. Du fait de cette prise en compte dans le secteur UTCATF, les émissions de CO_2biomasse ne sont pas incluses dans le secteur énergie même en cas d'une utilisation énergétique de la biomasse. Ce n'est pas une hypothèse de neutralité qui est appliquée pour la biomasse de cycle long (celle-ci n'est pas valable sur l'horizon de temps considéré à savoir environ un siècle). C'est une allocation spécifique orientée selon le point de vue producteur de bois (forestier) et non selon le point de vue consommateur de bois.

Pour information, les émissions de CO_2liées à la combustion de biomasse à finalité énergétique sont indiquées en aparté (hors total) dans les données et le rapport Secten.

Une des évolutions récentes majeures à observer concernant le CO_2 biomasse est la forte hausse de production d'électricité et de chaleur à partir de biomasse depuis les années 2010.



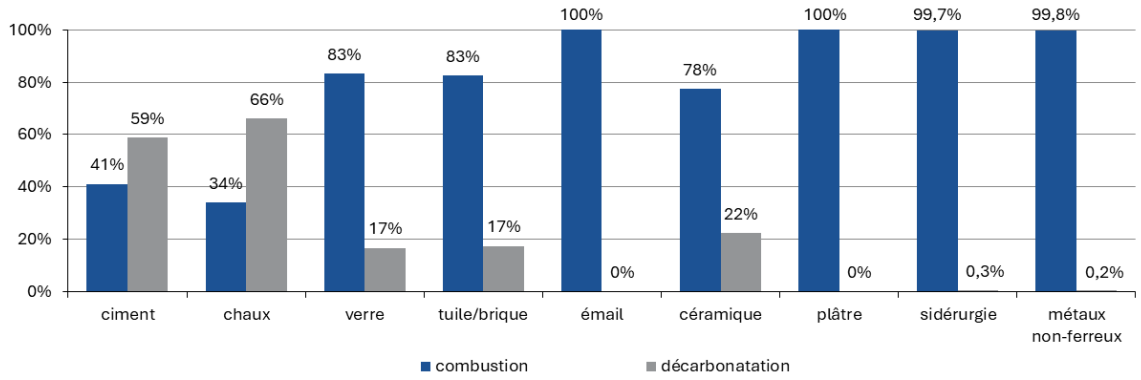
Emissions de CO_2 biomasse (Mt/an) pour le secteur de l'Energie (rapporté en aparté)

Part des émissions liées à la décarbonatation

Pour certaines activités, les émissions de CO_2 proviennent : d'une part, des émissions induites par l'utilisation de combustibles ; et d'autre part, des émissions induites par la décarbonatation. La décarbonatation correspond à la transformation du carbone contenu dans des carbonates (par exemple,

le calcaire) en CO_2, sous l'effet de la chaleur. Les principaux secteurs d'activité concernés par la décarbonatation sont : la production de ciment, la production de verre, la sidérurgie (utilisation de castine), la production de chaux (aérienne et hydraulique) (sites dédiés ou en sucreries), la production de tuiles et briques. Dans les secteurs de la céramique et de la production d'émail, les émissions de CO_2 induites par la décarbonatation sont très faibles au regard de celles relatives à la combustion. En revanche, pour certains des secteurs cités précédemment, les émissions relatives à la décarbonatation peuvent représenter une part non négligeable dans les émissions totales de CO_2 du secteur concerné, comme le ciment et la chaux.

Le graphique suivant présente la répartition des émissions de CO_2 entre la combustion et la décarbonatation pour les principaux secteurs, pour l'année 2023.



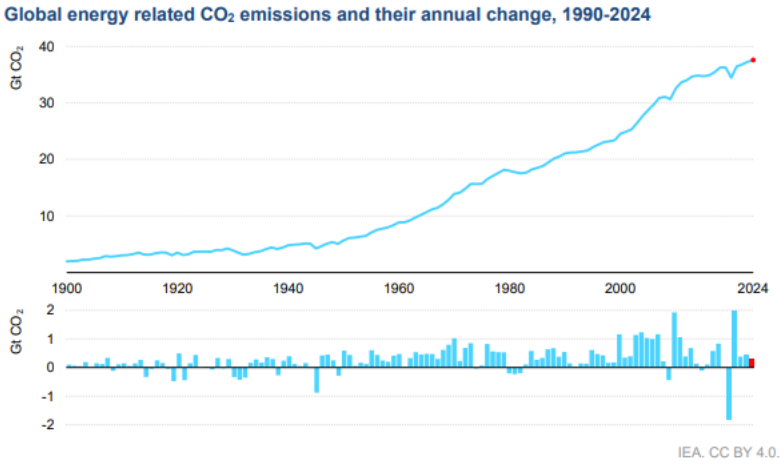
Répartition des émissions de CO2 entre combustion et décarbonatation en 2023

Dans le monde

En mars 2025, l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) a publié son nouveau rapport annuel. Il présente les tendances en matière **d'émissions mondiales de CO_2 provenant de la combustion de combustibles fossiles, des procédés industriels et du torchage (données 2024).**

Les émissions mondiales de CO_2 toujours en hausse en 2024

Les émissions mondiales de CO_2 totales de la combustion des combustibles fossiles liées à l'énergie (production et consommation d'énergie dans les secteurs de la production d'énergie, de l'industrie manufacturière, des transports, des bâtiments [résidentiel/tertiaire/institutionnels]) ont continué leur progression à la hausse mais à un rythme plus lent qu'en 2023. Elles ont effectivement augmenté de 0,8%, atteignant un niveau record de 37,8 Gt CO_2. Avec des accroissements respectifs de 2,5% (+280 Mt CO_2) et 0,9% (+135 Mt CO_2), le gaz naturel et le charbon sont les sources d'énergie responsables de la majeure partie de la hausse observée.



Emissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie et leur évolution interannuelle 1900-2024 (en Gt CO_2) *Source : AIE, mars 2025*

Découplage entre émissions et croissance

L'AIE note que la hausse de 0,8% des émissions de CO_2 en 2024 a été nettement plus faible que la croissance du PIB mondial, qui était de 3,2% en 2024. L'année 2024 a donc confirmé la tendance récente selon laquelle les émissions de CO_2 augmentent plus lentement que l'activité économique mondiale. Au cours de la décennie 2013-2023, les émissions mondiales de CO_2 ont augmenté d'un peu plus de 0,5% par an. Cette évolution n'est pas uniquement due à la pandémie de Covid-19. Elle n'est pas non plus due à la faible croissance du PIB mondial, qui s'est élevée en moyenne à 3% par an au cours de la décennie précédente, ce qui correspond à la moyenne annuelle des 50 dernières années.

Le rythme de progression des émissions de CO_2 observé au cours de la dernière décennie est plus lent que celui des années 1970 et 1980, qui ont connu des perturbations majeures avec les deux chocs énergétiques de 1973-4 et 1979-80, et un choc macroéconomique d'importance mondiale avec la chute de l'Union soviétique en 1989-90. Si l'on replace les dix dernières années dans un contexte historique plus large, un rythme de progression des émissions de CO_2 aussi lent n'a été observé que pendant les décennies extrêmement perturbées de la Première Guerre mondiale et de la Grande Dépression.

Le rôle important des énergies bas-carbone dans ce ralentissement de la hausse des émissions de CO_2

Les énergies bas-carbone sont au cœur de ce ralentissement des émissions. En 2024, 80% de la croissance de la production mondiale d'électricité a été fournie par des sources renouvelables et l'énergie nucléaire. Ensemble, elles ont contribué pour la première fois à 40% de la production totale, les énergies renouvelables fournissant à elles seules 32%. Les nouvelles installations d'énergies renouvelables ont atteint des niveaux records pour la 22^{e} année consécutive, avec environ 700 GW de capacité renouvelable totale ajoutée en 2024, dont près de 80% d'énergie solaire photovoltaïque. La production à partir du solaire photovoltaïque et de l'éolien a augmenté d'un record de 670 TWh, tandis que la production à partir du gaz naturel a augmenté de 170 TWh et celle du charbon de 90 TWh.

Les émissions mondiales de CO_2 par pays/région : des situations contrastées

Les émissions de CO_2 liées à l'énergie en Chine ont augmenté d'environ 0,4% en atteignant 12 603 Mt en 2024. Cette légère augmentation fait suite à une hausse beaucoup plus conséquente, en effet, en 2023 les émissions ont augmenté de 4,5% en comparaison avec 2022. Le développement des énergies propres, notamment l'éolien et le solaire photovoltaïque, a contribué à atténuer la croissance des émissions de la région. La production hydroélectrique a également augmenté de 11% par rapport à 2023.

En lien avec son taux de croissance élevé, Les émissions de CO_2 de l'Inde ont augmenté de 5,3% (soit +151 Mt CO_2) en 2024. Cette hausse fait suite à une augmentation d'un niveau quasi similaire l'année précédente (+5,4% entre 2022 et 2023). Il s'agit du taux le plus élevé parmi les grandes économies. Les émissions du pays atteignent 2 987 Mt pour 2024.

L'Union européenne (UE) a vu ses émissions de CO_2 liées à la combustion d'énergie diminuer de 2,2% en 2024 par rapport à 2023 (soit -54 Mt). Cette baisse est nettement moins forte que celle observée l'an passé (-228 Mt, soit -8,5% entre 2022 et 2023). Le principal moteur de la baisse observée depuis 2023 correspond au déploiement des énergies renouvelables, et notamment de l'éolien et du solaire à hauteur de 28%, dans le secteur de la production d'électricité. Les énergies renouvelables participent à presque la moitié de la production en 2024.

De la même façon, les émissions de CO_2 provenant de la combustion d'énergie aux **Etats-Unis** ont diminué de 0,5% (-20 Mt) en 2024, suite à une baisse de 3,2% (-150 Mt) en 2023, soit une trajectoire toujours à la baisse mais d'un niveau moindre. Cette tendance s'explique par un moindre recours au charbon et produits pétroliers en faveur du gaz.

CH_4 | Méthane

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Le méthane (CH_4) occupe une place à part parmi les composés organiques volatils (COV). Il est produit essentiellement de manière biologique. Il est incolore, inodore et non toxique.

Composition chimique
Un atome de carbone (C) et quatre atomes d'hydrogène (H).

Origine
Sources anthropiques : agriculture (fermentation entérique des ruminants et déjections animales), brûlage de biomasse, décharges, transport et distribution de gaz naturel.

Source naturelle : bactéries dans les zones humides, telles que les rizières et les marais ; lacs ; tourbières ; permafrost ; volcans ; feux de forêt.

Phénomènes associés
Le méthane a un pouvoir de réchauffement global (PRG) 28 fois plus élevé que celui du CO_2 sur 100 ans (GIEC, AR5). C'est le deuxième plus important GES réglementé par le Protocole de Kyoto à contribuer au réchauffement de la planète après le dioxyde de carbone (CO_2). Contribution aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre.

Effets

Effet de serre.

Précurseur d'ozone

Santé (à très haute concentration, peut provoquer des asphyxies)

Enjeux

Effets environnementaux

Le méthane est un puissant gaz à effet de serre à courte durée de vie ainsi qu'un précurseur d'ozone troposphérique. Il est ainsi concerné à la fois par les problématiques de changement climatique et de pollution atmosphérique. Selon l'édition 2024 du Bulletin annuel sur les GES publié par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM)[29], le CH_4 est le deuxième contributeur à l'augmentation du forçage radiatif total des GES, à hauteur de 16% entre l'ère préindustrielle et 2023, après le CO_2 (66%) et avant les CFCs (9%) et le N_2O (6%). En 2023, les concentrations moyennes mondiales de CH_4 dans l'atmosphère ont atteint les niveaux les plus élevés jamais enregistrés depuis l'époque préindustrielle (1750) : 1 934 parties par milliard (ppb), soit + 265% depuis 1750 (729,2 ppb) et + 0,6% depuis 2022. Par rapport à d'autres gaz à effet de serre (CO_2, N_2O, HFC, PFC, SF_6, NF_3), le CH_4 a une durée de vie dans l'atmosphère courte. Ainsi, dans son 6e rapport d'évaluation (2021), le GIEC l'estime à 11,8 ans, soit une légère réévaluation par rapport aux précédents rapports (12,4 ans pour l'AR5, 12 ans pour l'AR4). Ainsi, le CH_4 fait partie de la catégorie des forceurs climatiques à courte durée de vie. Quant à la valeur PRG du CH_4, elle diffère fortement selon que le PRG soit considéré sur 20 ans ou sur 100 ans. Sur 100 ans, le 6e rapport d'évaluation l'estime à 27,9 (contre 28 dans le 5e rapport). Cependant, sur 20 ans, le PRG du CH_4 est beaucoup plus important : 81,2 dans le 6e rapport (contre 84 dans le 5e rapport). Autrement dit, le CH_4 a un effet sur le climat beaucoup plus fort à court terme (20 ans) qu'à long terme (100 ans). Les PRG actuellement utilisés dans l'inventaire sont ceux de l'AR5 (voir la section dédiée aux PRG dans le chapitre Comprendre nos données). Le CH_4 impacte aussi la qualité de l'air, indirectement en tant que précurseur de l'ozone qui lui a des effets négatifs importants sur la santé respiratoire, et peut également conduire à la baisse les rendements agricoles en réduisant la photosynthèse. Le CH_4 figurait d'ailleurs parmi les six polluants initialement visés dans le cadre de la révision, en 2013, de la directive NEC. Cependant, sur la base des préoccupations des États membres, tant au niveau politique que technique, en vue de parvenir à une position commune sur ce texte au sein du Conseil Environnement de l'UE, la Présidence lettone de l'époque a retiré le CH_4 du champ d'application de la future directive NEC 2 pour éviter d'éventuels chevauchements avec la politique climat de l'UE.

Les métriques en débat

Nous pouvons évoquer un enjeu méthodologique vis-à-vis du pouvoir réchauffant du méthane. A l'heure actuelle les différents programmes français et européens déclinent leurs objectifs quantitatifs en CO_2e en convertissant les différents gaz selon le pouvoir de réchauffement global à 100 ans (PRG_{100}), celui-ci constituant la valeur de référence pour les rapportages effectués dans le cadre de la Convention-Cadre des

[29] WMO Greenhouse Gas Bulletin, No. 20, 28 October 2024. https://library.wmo.int/idurl/4/69057

Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). C'est également sur la base du PRG100 que le Citepa fournit ses chiffres en CO_2e (en conservant un rapportage par tonne de gaz émis). Toutefois, le PRG_{100} n'est pas bien adapté pour rendre compte des variations d'émission de GES à courte durée de vie. Ainsi, l'impact de l'émission de CH_4 sur la température de surface diminue rapidement après quelques décennies. A l'inverse, les émissions de CO_2 exercent un impact relativement stable sur la température globale à long terme et ont un effet cumulatif puisqu'une partie de ces émissions demeurent pour des millénaires dans l'atmosphère. Les poids relatifs des impacts des émissions de CH_4 et du CO_2 sont donc très sensibles à la métrique utilisée, notamment à l'horizon temporel considéré dans la métrique.

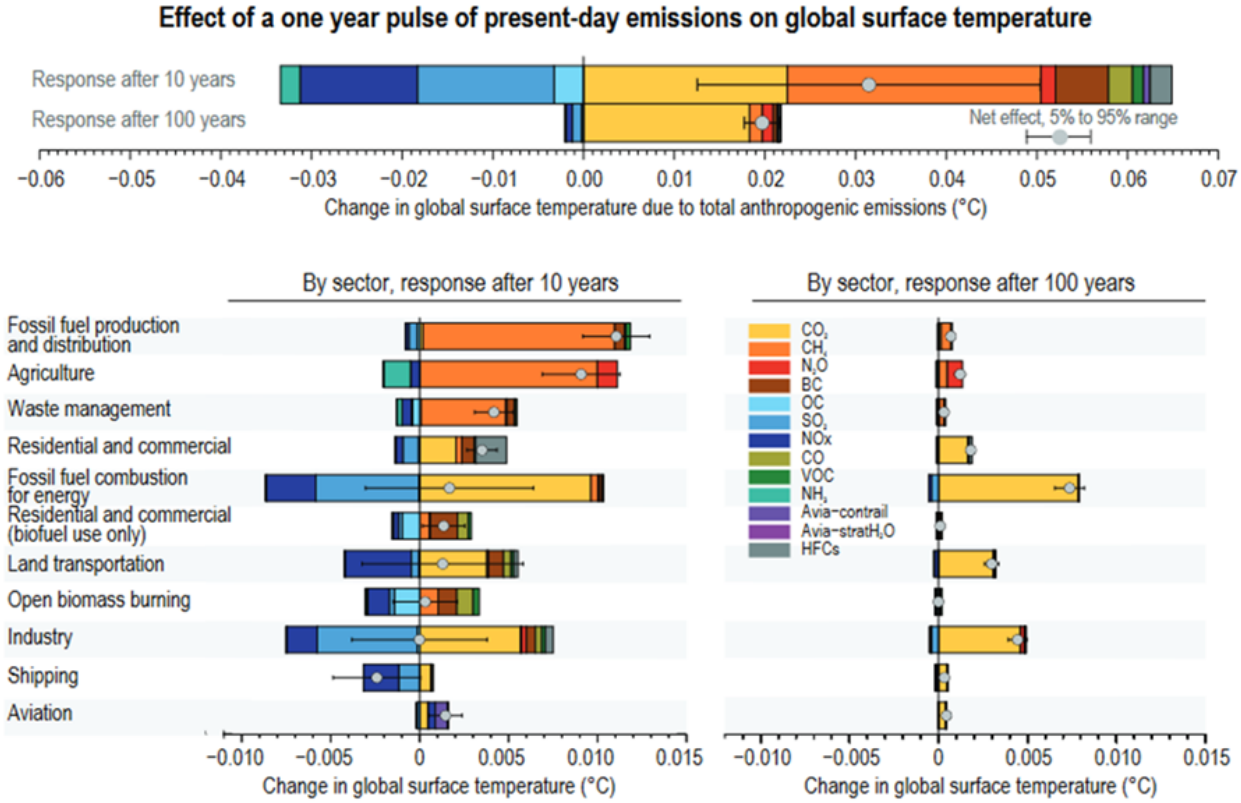


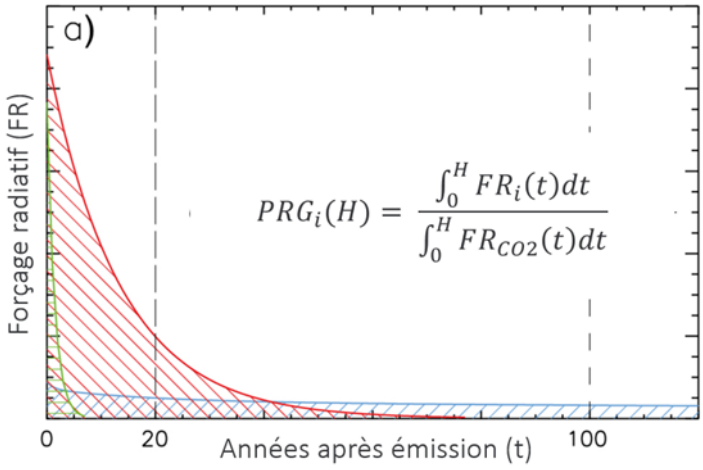
Figure TS.20 | Global surface temperature change 10 and 100 years after a one-year pulse of present-day emissions. *The intent of this figure is to show the sectoral contribution to present-day climate change by specific climate forcers, including carbon dioxide (CO_2) as well as short-lived climate forcers (SLCFs).* The temperature response is broken down by individual species and shown for total anthropogenic emissions **(top)**, and sectoral emissions on 10-year **(left)** and 100-year time scales **(right)**. Sectors are sorted by (high-to-low) net temperature effect on the 10-year time scale. Error bars in the top panel show the 5–95% range in net temperature effect due to uncertainty in radiative forcing only (calculated using a Monte Carlo approach and best estimate uncertainties from the literature). Emissions for 2014 are from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) emissions dataset, except for hydrofluorocarbons (HFCs) and aviation H_2O, which rely on other datasets (see Section 6.6.2 for more details). CO_2 emissions are excluded from open biomass burning and residential biofuel use. {6.6.2, Figure 6.16}

Effet d'une année actuelle d'émissions d'origine anthropique sur la température de surface selon différents horizons temporels (à gauche : réponse après 10 ans ; à droite : réponse après 100 ans) et différents types de gaz – source : IPCC, 2021, Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://doi.org/10.1017/9781009157896.002

Le choix de la métrique de référence fait débat depuis la standardisation de l'utilisation du PRG_{100} en 1990 et plusieurs approches alternatives ont été proposées (PRG*, CGTP…). Notons que le GIEC ne recommande pas de métrique de conversion et souligne l'intérêt de détailler des trajectoires ou objectifs par gaz et d'utiliser aussi d'autres métriques type PRG* ou CGTP partant du principe que le choix approprié dépend des objectifs d'analyse (« *Il n'y a pas d'argument scientifique pour sélectionner un horizon temporel de 100 ans plutôt qu'un autre horizon* » - IPCC AR5, Ch8 p711 - traduction libre). Avant de détailler le principe du PRG*, nous revenons de façon plus précise sur le calcul du PRG.

Qu'est-ce que le PRG ?

Le PRG ou potentiel de réchauffement global d'un gaz *i*, est défini comme le rapport entre la perturbation du bilan radiatif de la Terre pendant une période déterminée qui suit l'émission *ponctuelle* d'un kg d'un gaz et la perturbation sur la même période d'une émission ponctuelle d'un kg de CO_2. Dans la figure ci-dessous, le PRG d'un gaz d'une durée de vie dans l'atmosphère de 13 ans (courbe rouge dans le graphique) correspond au rapport entre l'aire en rouge et l'aire en bleu sur un horizon de temps donné (Figure ci-dessous). On visualise bien que le PRG à 20 ans du gaz concerné (rouge) est supérieur à son PRG à 100 ans.



Calcul du PRG d'un gaz i pour un horizon temporel H. L'aire bleue représente le forçage radiatif d'une émission de CO_2 au temps t=0 cumulé sur une période donnée (par exemple 20 ans ou 100 ans selon les lignes verticales). Les aires en vert et rouge correspondent au forçage radiatif cumulé de gaz de durée de vie respective de 1,5 et 13 ans. Source : Adaptation Citepa du graphique 8.28 de l'AR5 du GIEC (IPCC, AR5 – chapitre 8 p 711)

Le PRG permet de comparer des émissions de composés en fonction de leur impact sur l'énergie accumulée à la quantité d'émissions équivalentes pour du CO_2 pour accumuler la même quantité d'énergie sur la même période.

Le PRG*

L'AR6 du GIEC[30] précise que pour un secteur émetteur multi-gaz (à l'instar du secteur agricole), la contribution estimée des émissions au réchauffement de surface est améliorée en utilisant de nouvelles approches telles que le PRG* (ou GWP*) qui sont conçues pour mieux relier les taux d'émission de gaz à courte durée de vie aux impacts en termes de réchauffement de surface, notamment lorsque ces émissions se stabilisent ou diminuent.

On peut comprendre le PRG* en comparant les effets d'émissions de CO_2 et de CH_4 et leur dynamique différenciée de dégradation dans l'atmosphère. Une fois le CO_2 émis vers l'atmosphère, sa concentration va demeurer stable sur de longues périodes[31]. Ainsi pour chaque quantité de CO_2 émise, une partie – correspondant à la quantité de CO_2 après absorption par la végétation et les océans - s'ajoute au stock déjà présent dans l'atmosphère sur un horizon temporel lointain entrainant un effet d'accumulation. Le CH_4 est en revanche un gaz à effet de serre à courte durée de vie dans l'atmosphère (11,8 ans en moyenne selon GIEC), et s'oxyde ensuite en CO_2. De plus, chaque molécule de CH_4 a une bien plus grande capacité à interagir avec le rayonnement infrarouge qu'une molécule de CO_2. Ainsi, l'émission de CH_4 entraine un réchauffement important sur une courte durée tandis que l'émission d'une même quantité de CO_2 entraîne un réchauffement moins important mais sur une durée beaucoup plus longue.

L'objectif des métriques telles que le PRG* est de traduire un changement de température en changement que cela nécessiterait en émission de CO_2 ou en émission d'un autre gaz à effet de serre. Considérant que pour augmenter la température durablement, et pour les raisons expliquées plus haut, une injection d'une quantité de CO_2 sur un temps court est suffisante tandis qu'une injection de méthane sur un temps indéfini est nécessaire pour maintenir son effet sur la température, les nouvelles métriques, développées pour les forceurs climatiques à courte durée de vie, permettent de comparer des émissions continues de méthane (ou autre gaz à effet de serre) à une émission sporadique de CO_2 (Combined Global Temperature Change Potential - CGTP) ou à une émission sporadique puis une petite émission continue (PRG*). Pour cette raison, les émissions converties ne sont pas des émissions en CO_2 équivalent mais en CO_2 « warming equivalent » (noté CO_2 we).

En cas de réduction des émissions annuelles de méthane sur une longue période, la concentration de

[30] IPCC, AR6, chapitre 7 p927-928

[31] Selon l'AR6 du GIEC (IPCC AR6 WGI Annex VII p 2237), le temps d'ajustement du CO_2 dans l'atmosphère est déterminé à partir des taux d'élimination du carbone par une série de processus dont les échelles de temps vont de quelques mois à des centaines de milliers d'années. 15 à 40% d'une impulsion de CO_2 émise restera dans l'atmosphère pendant plus de 1 000 ans, 10 à 25% pendant environ 10 000 ans et le reste sera éliminé sur plusieurs centaines de milliers d'années.

méthane va rapidement baisser. Les métriques telles que le PRG* vont permettre d'intégrer cette dynamique. Ainsi la formule du PRG* donnée dans Cain et al., 2019[32] peut être réécrite comme ceci pour le méthane :

$$E_{CO_2\,we} = PRG_H \times \left[r \times \frac{\Delta E_{CH4}}{\Delta t} \times H + s \times \mathrm{E}_{CH4}\right]$$

Avec PRG_H le potentiel de réchauffement global conventionnel à horizon H du méthane, ΔE_{CH4} l'évolution des émissions annuelles de CH_4 sur la période Δt.

Le premier terme $\left(r \times \frac{\Delta E_{CH4}}{\Delta t} \times H\right)$ de « variation » correspond à la réponse climatique à une évolution des émissions moyennes annuelles sur une période donnée. Le second terme $(s \times \mathrm{E}_{CH4})$ de « stock » représente l'effet à long terme de l'émission ponctuelle pour l'année considérée, en l'absence d'évolution du taux d'émission.

On comprend ainsi que le terme de variation devient nul lorsque les émissions annuelles sont constantes sur la période. Lorsque les émissions sont en repli le terme devient négatif. Cain et al. (2019) donnent un taux de réduction des émissions annuelles de méthane de 0,3% pour que le réchauffement induit par le méthane soit nul.

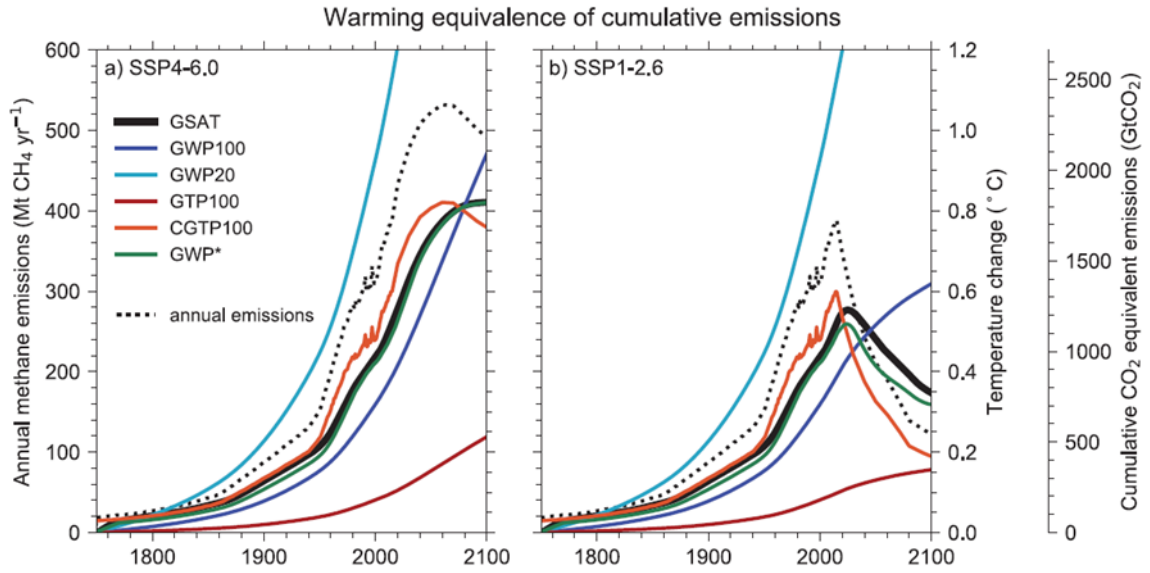


Figure 7.22 | Explores how cumulative carbon dioxide equivalent emissions estimated for methane vary under different emissions metric choices and how estimates of the global surface air temperature (GSAT) change deduced from these cumulative emissions compare to the actual temperature response computed with the two-layer emulator (solid black lines). Panels **(a)** and **(b)** show the SSP4-6.0 and SSP1-2.6 scenarios respectively. The panels show annual methane emissions as the dotted lines (left axis) from 1750 to 2100. The solid lines can be read as either estimates of GSAT change or estimates of the cumulative carbon dioxide equivalent emissions. This is because they are related by a constant factor, the TCRE. Thus, values can be read using either of the right-hand axes. Emissions metric values are taken from Table 7.15. The GWP* calculation is given in Section 7.6.1.4. The two-layer emulator has been calibrated to the central values of the Report's assessment (see Supplementary Material 7.SM.5.2). Further details on data sources and processing are available in the chapter data table (Table 7.SM.14).

La figure 7.22 de l'AR6 du GIEC résume bien les enjeux associés au choix de différentes métriques pour représenter l'impact des émissions de méthane sur l'accroissement des températures. Pour ce faire, les trajectoires d'émissions de méthane (en pointillés) sont traduites en trajectoires d'émissions de CO_2 à l'aide de différentes métriques, puis converties en effet sur la température. On peut observer que le PRG* (courbe verte) suit mieux l'évolution de l'effet sur la température déterminé directement à partir des émissions de méthane (courbe noire) que les autres métriques, particulièrement lorsque les émissions sont amenées à décroître durant le 21ème siècle. Ces métriques sont adéquates pour suivre des trajectoires d'émissions et leur effet sur les températures mais restent une représentation simplifiée de la réalité. Ainsi traduire des émissions continues de méthane en émissions sporadiques de CO_2 peut conduire à traduire une baisse d'émissions de méthane en un retrait de CO_2 de l'atmosphère, or ce n'est évidemment pas la même conséquence sur le climat à long terme.

Si le GIEC ne recommande pas de métrique particulière, certains papiers s'interrogent sur la possibilité d'en changer comme Pérez-Dominguez et al. (2021), car comme indiqué par le GIEC dans chacun de ses rapports depuis 1990, le choix d'une métrique particulière pour le potentiel de réchauffement du méthane peut avoir une influence sur le choix des stratégies d'atténuation optimales (scénarios de politiques agricoles). De même Tanaka et al., 2021 suggèrent d'évaluer régulièrement les coûts de l'utilisation de différents horizons temporels

[32] Cain et al., 2019, NPJ Clim Atmos Sci 2, 1–7. https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4

pour les PRG en fonction de l'évolution de la trajectoire de réchauffement.

Si le Citepa ne fournit pas aujourd'hui d'inventaires avec le PRG* toutefois nous fournissons l'ensemble des valeurs en émissions par type de gaz ce qui rend possible la conversion. Pour rappel, la conversion en CO_2eq n'a pour but que de comparer entre elles des stratégies d'atténuation multi-gaz mais il reste essentiel de définir des trajectoires par gaz parallèlement aux objectifs globaux de réduction des températures.

Pour aller plus loin, un article détaillé[33] co-écrit par Christian de Perthuis, Christian Couturier et Sophie Szopa intitulé « A la recherche des bonnes équivalences climatiques entre CO_2 et méthane » a été publié en avril 2024.

Effets actuels

Au niveau mondial

Le rapport de synthèse de l'AR6 du GIEC (AR6-SYR[34]) indique qu'« *en 2019, les concentrations atmosphériques de CO_2 ont été les plus élevées depuis au moins 2 millions d'années (degré de confiance élevé) et les concentrations de CH_4 et de N_2O ont été les plus élevées depuis au moins 800 000 ans (degré de confiance très élevé).* » {Section 2.1.1 p 42}

Le bulletin annuel n°20 sur les GES publié par l'OMM indique que la concentration en CH_4 atmosphérique a continué d'augmenter entre 2019 et 2023. Cette concentration a augmenté plus rapidement depuis 2007 avec des accélérations en 2014 et 2020. Depuis 2007, l'augmentation du méthane atmosphérique semble principalement liée à des émissions microbiennes d'origine biogénique (zones humides, élevages, rizières, feux, etc.) et cette accélération pourrait également résulter d'une rétroaction climatique positive.

Afin de limiter le réchauffement climatique à 1,5°C, des réductions significatives des émissions de méthane sont essentielles. Selon le GIEC (AR6-SYR), les trajectoires modélisées qui atteignent cet objectif (avec une probabilité de plus de 50%) nécessitent une réduction des émissions mondiales de méthane d'environ 34 [21-57]% d'ici l'année 2030, par rapport aux niveaux de 2019. Cette trajectoire de réduction fait partie d'une stratégie plus large qui inclut des coupes profondes et rapides des émissions brutes de CO_2 et des réductions substantielles des autres gaz à effet de serre (GES) {B.6.2 p 21}.

A noter : sont incluses dans les budgets carbone restant indiqués par le GIEC les éventuelles émissions du futur dégel du permafrost (CO_2 et CH_4), ainsi que des émissions de CH_4 des zones humides.

Des estimations mondiales d'émission de CH_4 sont proposées par l'Agence internationale de l'énergie. D'après le Global Methane Tracker[35] 2025, le secteur énergétique mondial (production et consommation de combustibles fossiles) est le deuxième responsable des émissions mondiales de CH_4, avec 145 millions de tonnes (Mt) de CH_4 émis dans l'atmosphère en 2024, soit plus de 35% du total des émissions d'origine anthropique. Le premier secteur est toujours l'agriculture avec plus de 160 Mt de CH_4 émis en 2024. L'AIE indique que c'est en réduisant les émissions provenant de l'exploitation des combustibles fossiles que l'on a le plus de chances d'obtenir des réductions importantes à horizon 2030.

En 2021, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et la Coalition pour le climat et l'air propre (CCAC) ont conjointement publié, une évaluation mondiale sur le méthane (*Global Methane Assessment*). Pour la première fois, cette évaluation intègre les coûts et les bénéfices pour le climat et la pollution de l'air d'une réduction des émissions de CH_4. Le rapport estime que les émissions anthropiques de CH_4 pourraient être réduites de 45% au cours de la décennie 2021-2030. Une telle réduction permettrait de réduire le réchauffement climatique de 0,28°C sur la période 2040-2070 et serait compatible avec l'objectif de +1,5°C de l'Accord de Paris. A horizon 2050, elle permettrait également d'éviter entre 3,6 et 8,0 millions de morts prématurés, 480 à 2700 milliards d'heures de travail perdues en raison de canicules, ainsi que de 360 à 1000 millions de tonnes de pertes de récoltes ou de rendement en blé-maïs-soja-riz. Les résultats de l'évaluation sont également disponibles via un outil interactif d'aide à la décision qui permet aux utilisateurs de saisir différents objectifs de réduction des émissions de CH_4 pour calculer les avantages multiples au niveau national.

Enfin, en amont de la COP-26, le 18 septembre 2021, l'UE et les États-Unis ont conjointement annoncé une

[33] https://hal.science/hal-04680347/document
[34] https://dx.doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
[35] https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2025

nouvelle initiative, le Global Methane Pledge (Engagement mondial sur le méthane). Dans le cadre de cette initiative, les participants (159 en 2025) se sont engagés sur un objectif collectif de réduction des émissions mondiales de CH_4 d'au moins 30% d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 2020. Ils s'engageront également à s'efforcer d'appliquer les meilleures méthodologies de comptabilisation disponibles dans le cadre de leurs inventaires nationaux pour quantifier les émissions de CH_4, en mettant l'accent sur les grandes sources d'émission.

Toutefois d'après le dernier rapport du Global Methane Tracker, les engagements existants permettraient de réduire les émissions de méthane provenant des combustibles fossiles de 40% d'ici à 2030, mais seulement la moitié d'entre eux sont étayés par des politiques et des réglementations détaillées.

Au niveau européen

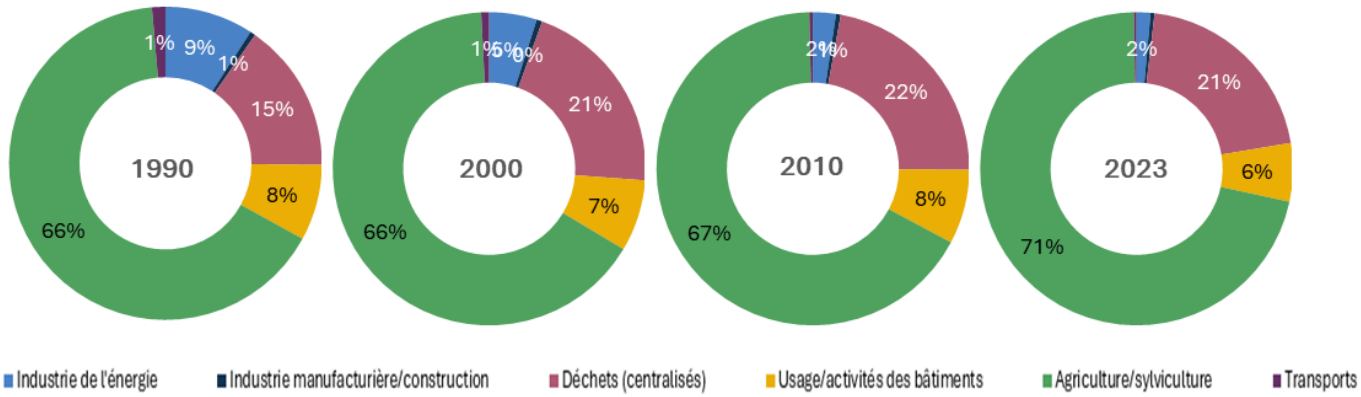
Après plusieurs années de discussions sur le sujet, notamment dans le cadre de la révision de la directive NEC (voir plus haut), dans le rapport Perspectives pour un air propre publié en juin 2018 par la Commission, ou encore au sein du pacte vert pour l'Europe (European Green Deal), la Commission européenne a présenté le 14 octobre 2020, une stratégie de l'UE pour réduire les émissions de CH_4. Cette stratégie cible les trois grands secteurs émetteurs de CH_4 anthropique (représentant 95% des émissions mondiales) : énergie (charbon, pétrole et gaz) ; agriculture ; et déchets. Elle présente des mesures législatives et non législatives visant à réduire les émissions dans l'UE mais aussi en dehors, en agissant sur les émissions en amont des chaines d'approvisionnement des entreprises européennes. La stratégie prévoit également des mesures pour renforcer les normes de suivi, vérification et déclaration (système dit « MRV », appliqué pour les inventaires nationaux d'émissions, dont celui de la France réalisé par le Citepa), afin de réduire les écarts de précision entre États membres. Elle inclut aussi le soutien à la création d'un nouvel observatoire international des émissions de CH_4, en partenariat avec le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, la Coalition pour le climat et l'air pur et l'Agence internationale de l'énergie. La stratégie souligne aussi le rôle du programme satellitaire Copernicus pour repérer les fuites de CH_4.

À la suite de la publication de cette stratégie, la Commission Européenne a présenté, le 15 décembre 2021, un règlement visant à réduire les émissions de CH_4 issues de la production ou de la consommation d'énergies fossiles dans l'UE (EU/2024/1787) qui a été adopté et est entré en vigueur le 4 août 2024. Les principaux objectifs du règlement sont d'améliorer l'exactitude des informations sur les principales sources d'émissions de CH_4 associées à l'énergie produite et consommée dans l'UE ; d'assurer la poursuite de la réduction effective des émissions de CH_4 dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement énergétique de l'UE ; et d'améliorer la disponibilité des informations pour inciter à la réduction des émissions de CH_4 liées aux énergies fossiles importées dans l'UE.

A noter

Sont exclus du total national l'ensemble du trafic international fluvial, maritime et aérien, les émissions naturelles des eaux terrestres et marais ainsi que les feux de forêt.

Principaux secteurs émetteurs

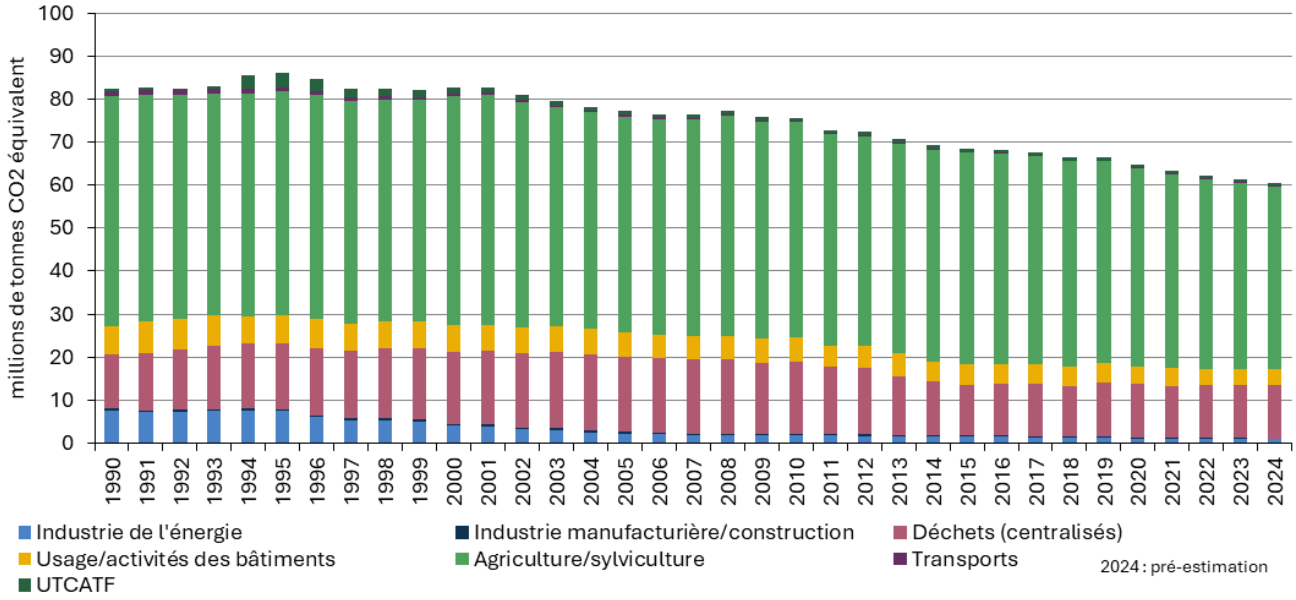


Répartition des émissions de CH_4 hors UTCATF en France

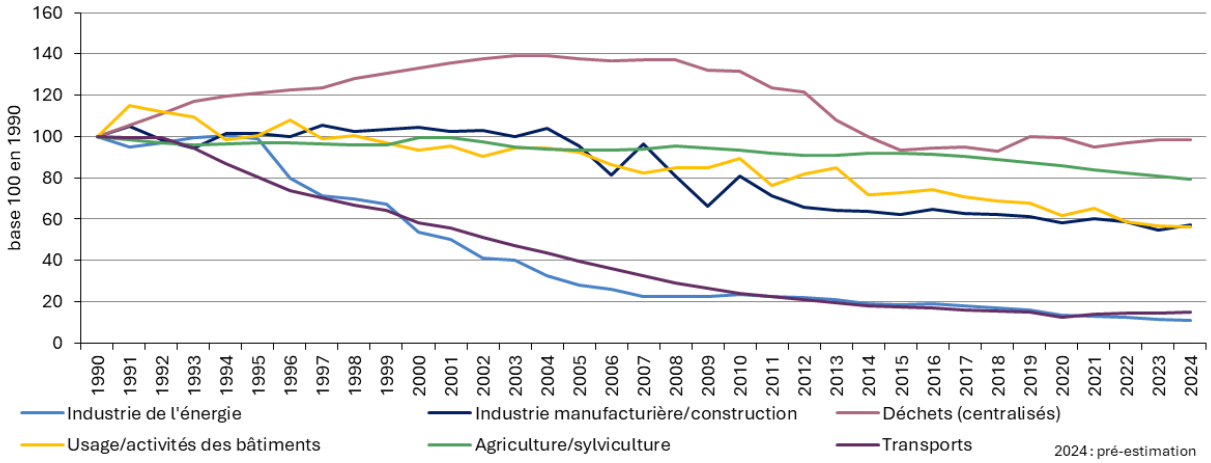
Tendance générale

Les émissions de méthane (CH_4) ont baissé de manière significative sur la période 1990-2023 (- 21 $MtCO_2e$ au niveau du total national hors UTCATF, soit environ - 26%).

Le secteur agricole, principale source d'émission de méthane du fait majoritairement de la fermentation entérique et des déjections animales, présente une baisse de ses émissions de 10 $MtCO_2e$ sur la période 1990-2023. En 2023, la fermentation entérique représente 85% des émissions de CH_4 du secteur agricole. Il est possible de réduire ces émissions en modifiant l'alimentation des animaux (ajout de lipides dans les rations), mais les techniques disponibles demeurent limitées dans la mesure où les émissions de CH_4 restent intrinsèquement liées au métabolisme de ces animaux. Pour les vaches laitières, par exemple, les émissions estimées actuellement par le Citepa sont positivement corrélées au rendement laitier. D'une manière générale, les émissions de CH_4 de la fermentation entérique des ruminants peuvent assez difficilement être réduites sans diminuer le cheptel des animaux. Cette réduction peut se faire tout en maintenant la production (intensification de la production par animal) ou bien par une réduction pure et simple de la production.



Evolution des émissions dans l'air de CH_4 depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

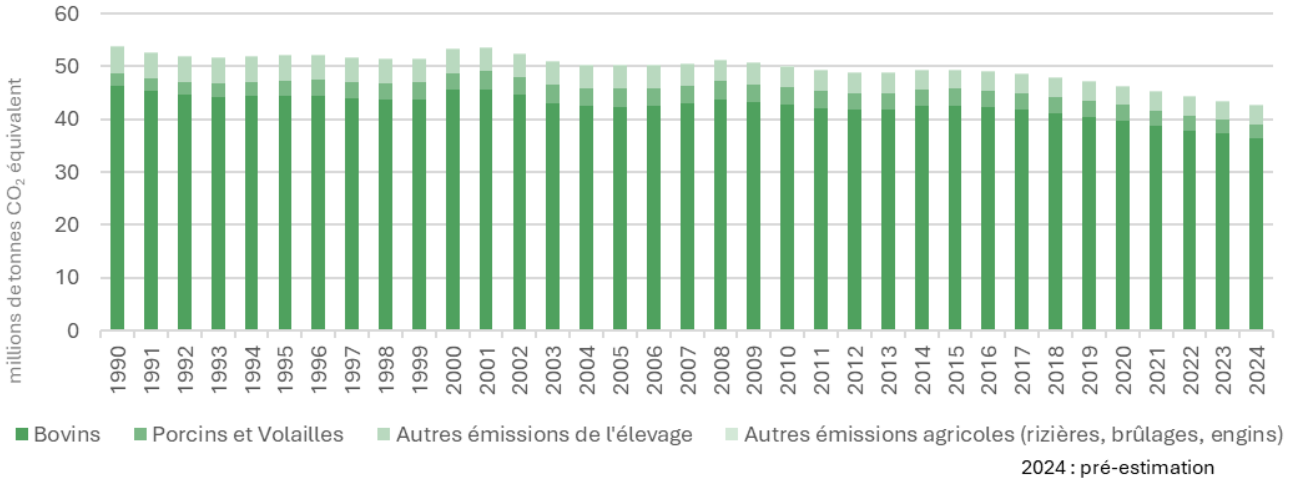


Evolution des émissions dans l'air de CH_4 en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

En France métropolitaine, sur la période 1990-2023, le cheptel laitier a fortement décru (- 2,1 millions de vaches laitières soit -40%) compensé par une hausse des rendements laitiers ce qui a conduit à une réduction effective des émissions de CH_4 de la fermentation entérique des vaches laitières d'environ 4,9 $MtCO_2e$ soit - 27%. Cette évolution est à mettre en lien avec la politique agricole commune (PAC) qui a fortement

impacté la structure des exploitations dans les années 90 engendrant un accroissement des rendements laitiers par vache. En effet, lors de la mise en place des quotas laitiers en 1984 (supprimés depuis 2015), les exploitations laitières se sont concentrées dans le « croissant laitier français » qui va du Grand Ouest (Pays de Loire, Bretagne, Normandie) à la région Rhône-Alpes en passant par le Nord Pas-de-Calais, la Lorraine, la Franche-Comté, et l'Auvergne. La production laitière par exploitation ayant été limitée, de nombreux éleveurs se sont alors tournés vers la création d'ateliers d'engraissement ou allaitants.

Sur le reste du cheptel bovin, les variations ont été du même ordre de grandeur avec des émissions en baisse pour la fermentation entérique (- 3,4 $MtCO_2e$ soit - 14%).



Répartition des émissions de CH_4 du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole et Outre-mer UE)

Le cheptel ovin a également (malgré lui) contribué à la baisse des émissions de CH_4 liées à la fermentation entérique (- 1,5 $MtCO_2e$ soit - 39%) du fait d'un très net recul des cheptels (- 4,8 millions d'ovins soit - 42%). Cette baisse peut s'expliquer par les crises sanitaires subies par la filière (fièvre aphteuse en Grande Bretagne en 2001, fièvre catarrhale ovine en 2008-2009), mais aussi par des facteurs économiques et climatiques (sécheresse en 2003 et en 2011 affectant les pâturages, hausse des coûts de l'alimentation, cours de l'agneau plus ou moins élevé). Cette tendance correspond à la tendance globale du recul de l'élevage en France, en particulier dans les zones de montagne et d'élevage extensif. Les autres cheptels ont une contribution marginale à ces émissions et donc à la tendance globale observée.

Pour les émissions de CH_4 liées à la gestion des déjections, la problématique est différente car elle est moins liée au fonctionnement de l'animal qu'aux pratiques d'élevage. Les émissions de CH_4 sont liées aux conditions anaérobies (sans oxygène) auxquelles sont exposées les déjections animales. Les situations sont multiples : ainsi les émissions de CH_4 liées aux déjections lors du pâturage sont faibles tandis que des stockages prolongés dans des fosses à lisier ou en litières accumulées sont très émetteurs. Ces pratiques obéissent à des schémas organisationnels différents dans les exploitations agricoles et sont peu orientées par les questions d'émissions de CH_4. D'une manière générale, plus les exploitations seront grandes plus elles évolueront vers des systèmes lisiers potentiellement émetteurs de CH_4.

Les exploitations agricoles peuvent néanmoins mettre en œuvre des techniques de réduction dont la plus répandue est la méthanisation, qui permet non pas de limiter la production de CH_4, mais au contraire de la favoriser en vue d'un captage et d'une valorisation énergétique. En France, un plan de développement de ces installations de méthanisation est en cours (Plan Energie Méthanisation Autonomie Azote - EMAA) qui a favorisé l'émergence de nombreuses installations. Cependant, l'impact réel de ces installations doit être considéré avec attention, tous les systèmes de méthanisation ne se valent pas en termes de captage du CH_4 et les quantités de déjections effectivement méthanisées demeurent relativement faibles en comparaison des quantités totales de déjections. La méthanisation reste le principal levier évoqué pour baisser les émissions de CH_4 de l'agriculture dans les politiques actuelles.

Le secteur de la transformation d'énergie est le deuxième contributeur à la réduction des émissions de méthane sur la période 1990-2023 (- 6,6 $MtCO_2e$) avec la cessation progressive de l'exploitation des gisements de charbon en France et le développement des programmes de remplacement des tronçons les plus vétustes du réseau de transport et de distribution gazier. Aujourd'hui,

les émissions de ce secteur sont faibles et majoritairement dues à la distribution de gaz.

Le CH_4 est aussi une problématique importante pour le secteur déchet du fait des émissions des décharges. Les émissions de CH_4 de ce secteur présentent un profil en cloche sur la période 1990-2023. Elles ont fortement augmenté entre 1990 et 2003 (+ 4,9 $MtCO_2e$ soit + 39%) pour baisser ensuite et retrouver globalement depuis 2015 le niveau qu'elles avaient en 1990. On constate depuis une stabilité des émissions. Cette évolution recouvre évidemment plusieurs dynamiques : la mise en décharge a à peu près suivi cette même courbe en cloche mais les émissions de CH_4 des décharges sont estimées à partir d'un historique de plusieurs décennies, il y a donc une inertie forte à ces émissions. La réduction des émissions observées depuis 2003 tient également beaucoup au fait que le torchage et la valorisation des émissions de CH_4 se soient fortement développés sur la période, permettant de limiter les émissions de CH_4 des décharges dans l'atmosphère.

Enfin le dernier secteur réellement concerné est le secteur résidentiel/tertiaire, qui représente 6,0% des émissions de CH_4 de la France en 2023, en lien avec la consommation de bois essentiellement. La baisse des émissions de CH_4 de ce secteur (- 2,8 $MtCO_2e$ soit - 43,1%) est corrélée à la baisse de consommation de bois des ménages sur la période 1990-2000 (la consommation des ménages est depuis 2000 relativement stabilisée) et à l'amélioration du parc des chaudières (renouvellement avec des chaudières plus performantes). La tendance à la baisse des émissions semble se maintenir sur les dernières années.

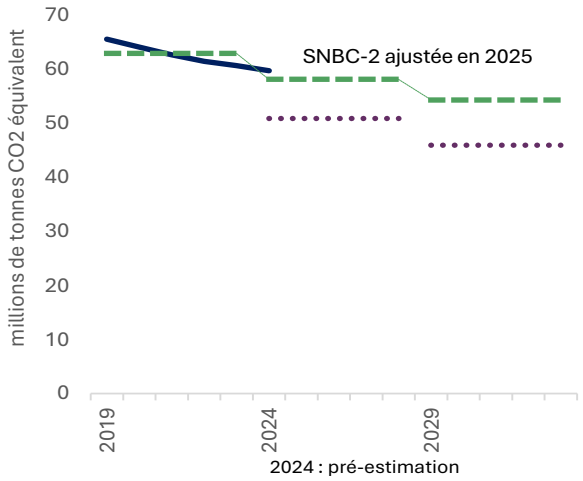
Atteinte des objectifs

Le 1er budget carbone défini dans la SNBC-1 (2015-2018) pour le méthane n'avait pas été atteint.

En ajustant les budgets aux chiffres de la présente édition Secten (éd. 2025), l'ambition de la SNBC-2 pour la période 2019-2023 sur le CH_4 est de 63 $MtCO_2e$/an (total hors UTCATF), soit un niveau proche des émissions en 2023 (61 $MtCO_2e$). L'objectif semble tenu sur la période avec une moyenne de 63 $MtCO_2e$/an de CH_4 émis entre 2019 et 2023. Les estimations provisoires pour 2024 (60 $MtCO_2e$) montrent que les émissions se situent au-dessus du budget SNBC-2 pour la période 2024-2028 (58 $MtCO_2e$) et dépassent nettement l'objectif provisoire de la SNBC-3 (51 $MtCO_2e$). Ainsi, la tendance à la baisse actuellement observée (- 1,3% entre 2022 et 2023) doit se poursuivre et s'accélérer.

Pour cela, parmi les principales techniques de réduction citées dans la SNBC, se retrouvent les pratiques visant le principal secteur émetteur, à savoir l'agriculture :

- Améliorer la gestion des effluents d'élevage (couverture des fosses et torchères, méthanisation) ;
- Optimiser la conduite des troupeaux pour diminuer les périodes improductives ou pour faire évoluer les produits mis sur le marché (gestion de l'état sanitaire, diminution de la mortalité à la naissance, optimisation de l'âge au premier vêlage, évolution des systèmes d'engraissement…) ;
- Limiter la fermentation entérique, via des ajustements de l'alimentation animale (apport de lin par exemple), ou via la sélection génétique.



Emissions de CH_4 et objectifs en cours en France

Le budget final prévu pour le CH_4 pour la période 2029-2033 est de 54 Mt CO_2e/an (*total hors UTCATF*) pour la SNBC-2, et de 46 Mt CO_2e /an pour la SNBC-3 (provisoire) soit une baisse des émissions annuelles de 10% à 24% par rapport à 2023.

Évolution récente

A partir du début des années 2000, la baisse des émissions de CH_4 de la France est principalement due à la baisse des émissions agricoles, le recul des émissions des décharges étant moins marqué à partir de 2016 et les autres secteurs demeurant de faibles contributeurs aux émissions totales nationales.

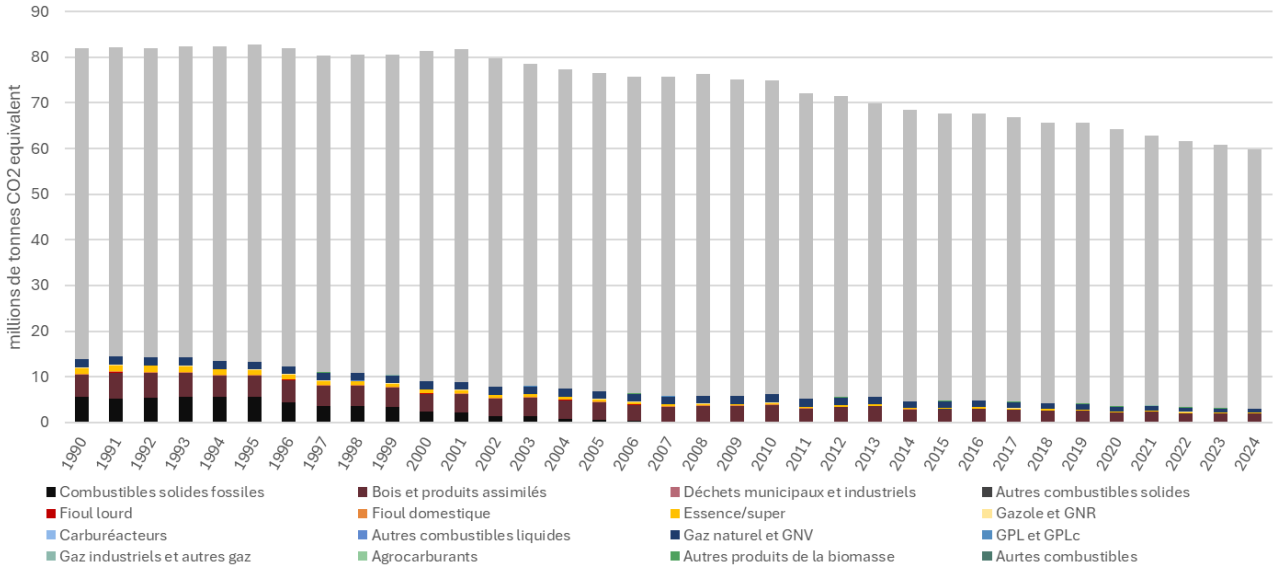
Sur 2022-2023, les émissions de méthane du secteur agricole se sont repliées de 1,8%, à un rythme supérieur

à celui des 10 dernières années (- 1,2% / an). Ces évolutions suivent globalement celles du cheptel bovin en repli de 1,6% entre 2022 et 2023. Vient s'ajouter également, depuis les années récentes, un important recul du cheptel porcin (- 6% entre 2022 et 2023) contribuant au recul des émissions de CH_4.

Les pré-estimations d'émission de CH_4 pour 2024 voient les tendances des années récentes se poursuivre, les mêmes phénomènes étant toujours à l'œuvre (décapitalisation du cheptel bovin, progression de la méthanisation).

Part des émissions liées aux combustibles

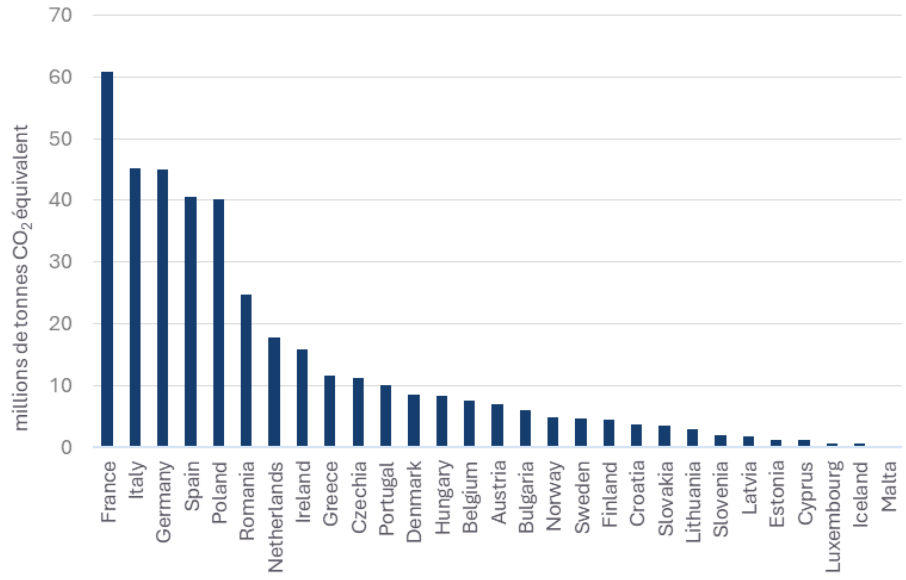
En France, les émissions de CH_4 ne sont que très peu liées aux combustibles. Cette part est dominée par l'usage du bois et de gaz naturel.



Répartition des émissions de CH_4 par combustible en France (Métropole et Outre-mer UE)

Et ailleurs ?

En 2023, les émissions communautaires de CH_4 (386 $MtCO_2e$) représentaient 12% des émissions totales de GES dans l'UE (3 106 Mt CO_2e), en baisse de 41% depuis 1990 (où leur niveau était de 653 $MtCO_2e$). Les deux principales sources d'émission sont l'agriculture (44% des émissions sont issues de la fermentation entérique des bovins) ; et les déchets (16% des émissions sont liées au traitement anaérobie) (source : Rapport d'inventaire de l'UE à la CCNUCC (NIR), éd. 2023). D'après l'interface de visualisation des données d'émissions de GES d'Eurostat, la France en 2023 est au 1er rang des pays émetteurs de méthane au sein de l'UE.



Emissions de méthane en Europe en 2023 (hors UTCATF ; en kt CO_2e)

Le classement des émissions de méthane par pays s'explique en grande partie par l'importance du cheptel d'herbivores au niveau européen. En 2023, la France détient le plus grand cheptel bovin de l'UE-27 avec 17 millions de têtes, suivie de l'Allemagne (11 millions de têtes). Viennent ensuite l'Irlande (6,5 millions de têtes), l'Espagne (6,3 millions de têtes), la Pologne (6,3 millions de têtes) et l'Italie (6,0 millions de têtes). L'élevage ovin est également très important en Espagne et en Roumanie. Enfin, certains pays ayant fortement développé leur production de monogastriques comme la Pologne ou n'ayant pas réduit leurs émissions au stockage des déchet peuvent également présenter des émissions de méthane importantes pour ces postes expliquant leur contribution élevée aux émissions de méthane européen.

N_2O | Protoxyde d'azote

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Le protoxyde d'azote (N_2O), également appelé oxyde nitreux ou gaz hilarant, est un composé oxygéné de l'azote. Il est produit naturellement par les écosystèmes, mais aussi par les activités humaines agricoles et industrielles. Il n'est pas inclus dans les inventaires d'émissions des oxydes d'azote (NOx).

Composition chimique
Deux atomes d'azote (N) et un atome d'oxygène (O).

Origine
Sources anthropiques : principalement apports d'engrais azotés minéraux et organiques sur les sols cultivés liés aux phénomènes de nitrification /dénitrification ; gestion des déjections animales. Trafic routier avec les véhicules équipés de pots catalytiques ; quelques procédés industriels (fabrication d'acide adipique, d'acide glyoxylique et d'acide nitrique).

Source naturelle : transformation de l'azote réactif par les microorganismes du sol.

Phénomènes associés
Le N_2O est un puissant gaz à effet de serre. Contributeur aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre, son potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG100) est de 265 d'après l'AR5 du GIEC (2014). Non réglementé dans le Protocole de Montréal il est cependant une substance appauvrissant la couche d'ozone, d'ODP (Ozone Depletion Potential) estimé à 0,017.

Effets

Effet de serre

Appauvrissement couche d'ozone

Enjeux

Effets environnementaux et mécanismes de formation

Le protoxyde d'azote (N_2O) est un puissant gaz à effet de serre qui subsiste longtemps dans l'atmosphère (109 ans selon le 6ème rapport d'évaluation du GIEC). Son PRG sur 100 ans a été révisé à la baisse dans le 5ème rapport du GIEC actuellement utilisé (à 265) par rapport au 4e rapport (298). Dans l'AR6, le PRG proposé a été revu à la hausse (273). Selon l'édition 2024 du Bulletin annuel sur les GES publié par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM)[36], le N_2O est le quatrième contributeur au forçage radiatif total des GES, à hauteur de 6% en 2023, après le CO_2 (66%), le CH_4 (16%) et les CFC (9%).

Dans un rapport du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) publié en 2013, intitulé « N_2O : Its role in Climate Change and Ozone Layer Depletion», il est indiqué que le N_2O, non réglementé dans le Protocole de Montréal, est désormais le principal contributeur à l'appauvrissement de la couche d'ozone, principalement du fait de la réduction des émissions des autres substances, étant elles soumises à réglementation. Le PNUE souligne qu'à l'époque de l'adoption du protocole de Montréal, le N_2O était déjà en quatrième position parmi les substances contribuant à l'amincissement de la couche d'ozone.

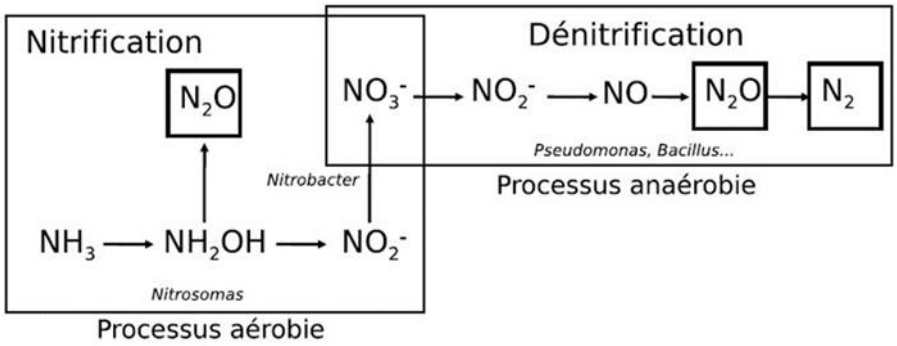
Une des sources majeures des émissions de N_2O est liée aux phénomènes microbiens dans les sols cultivés en lien avec l'utilisation d'engrais azotés minéraux et la gestion des déjections animales. Les deux principaux processus microbiens à l'origine de la production et de la consommation de N_2O sont la nitrification et la dénitrification :

- la nitrification est un processus d'oxydation biologique de l'ammonium (NH_4+) en nitrite (NO_2–) puis en nitrate (NO_3–) en condition aérobie par des micro-organismes du genre Nitrosomas ou Nitrobacter. La nitrification est principalement contrôlée par la teneur en NH_4+, la pression partielle en O_2, l'humidité et la température du sol et son rendement en N_2O est faible ;

- la dénitrification est un processus naturel au cours duquel des bactéries réduisent les nitrates en N_2. Il s'agit de l'unique processus biologique de retour à l'atmosphère de l'azote réactif sous forme inerte. La réaction a lieu en condition anaérobie par des micro-organismes dénitrifiants hétérotrophes, comme les bactéries Pseudomonas et Bacillus. Au cours de la réaction de dénitrification, les formes solubles de l'azote (nitrate NO_3–, nitrite NO_2–) sont réduites en composés gazeux (oxyde nitrique NO, protoxyde d'azote N_2O et

[36] WMO Greenhouse Gas Bulletin, No. 20, 28 October 2024. https://library.wmo.int/idurl/4/69057

azote gazeux N_2). Son rendement en N_2O est élevé car ce gaz est un produit intermédiaire de la transformation. Si le processus de dénitrification est incomplet, du N_2O peut être libéré dans l'atmosphère.



D'autres sources sont également identifiées, telles que certains procédés industriels (fabrication de glyoxal, d'acides adipique, glyoxylique et nitrique) ou encore certains équipements de combustion (stationnaires et mobiles). Au niveau du transport, l'introduction progressive des pots catalytiques sur les voitures peut aussi conduire à la formation de N_2O.

Enjeux actuels

Dans le rapport spécial 1,5°C du GIEC (2018), il est souligné que pour limiter le réchauffement à + 1,5°C, il faut réduire les émissions d[e] l'ensembles des GES, y compris le N_2O. Le GIEC indique par ailleurs que la forte demande en bioénergie peut augmenter les émissions de N_2O dans certaines trajectoires axées sur l'objectif de 1,5 °C. Il est donc essentiel d'adopter des méthodes de gestion appropriées.

Les enjeux liés aux émissions de N_2O doivent être pensés dans le contexte plus large du cycle de l'azote. L'azote est un nutriment majeur, tant au niveau de la production d'aliments, de fibres ou encore de biocombustibles. Il se présente sous des formes variées, certaines non réactives (N_2), et d'autres, comme le N_2O, réactives, souvent perdues sous forme de pollution de l'air ou de l'eau. Depuis plusieurs années, différentes initiatives voient le jour pour favoriser une gestion intégrée de l'azote, en optimisant son efficacité d'utilisation, jugée faible à l'heure actuelle si l'on considère la chaîne complète de la fertilisation à la consommation humaine et aux déchets.

En particulier, dans le cadre de la Convention CEE-NU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, un groupe dédié à l'azote (Task Force on Reactive Nitrogen – TFRN) a été mandaté pour produire un document d'orientation sur la gestion intégrée durable de l'azote. Par ailleurs, un système international de gestion de l'azote (INMS) a été créé, réunissant la communauté scientifique, le secteur privé et la société civile. L'objectif de ce projet est de rassembler et synthétiser des données probantes pouvant soutenir l'élaboration de politiques internationales pour améliorer la gestion mondiale de l'azote. Ce groupe a d'ailleurs participé, en collaboration entre autres avec le PNUE, au lancement fin 2019 d'une campagne mondiale sur la gestion durable de l'azote. Lors de cet évènement, le chanteur et auteur-compositeur Ricky Kej et son groupe ont interprété The Nitrogen Song, une nouvelle manière de sensibiliser le grand public aux enjeux liés à l'azote.

Du 30 mai au 3 juin 2021 s'est tenue la 8ème édition de la Conférence Mondiale sur l'Azote (Global Nitrogen Conference, dite INI), qui a rassemblé plus de 1 000 participants de 60 pays et a débouché sur une déclaration conjointe, dite déclaration de Berlin, appelant entre autres à :

- une gestion durable des composés azotés réactifs dans tous les secteurs afin d'atteindre les objectifs de développement durable de l'ONU d'ici 2030 ;
- la mise en œuvre de mesures ambitieuses, telle que la proposition faite en 2019, via la Déclaration de Colombo, de réduire de moitié les pertes d'azote (y compris sous forme de N_2) d'ici 2030 ; ou tel que le Plan d'Action Zéro Pollution de la Commission européenne ;
- un rôle accru des experts scientifiques dans la mise en place de ces politiques, notamment via les recommandations de la première Evaluation Internationale sur l'Azote (International Nitrogen Assessment) attendue en 2022 ;
- porter une attention plus grande au N_2O dans le cadre des engagements climat des pays, via

leur contribution nationale (NDC) au titre de l'article 4 de l'Accord de Paris ;

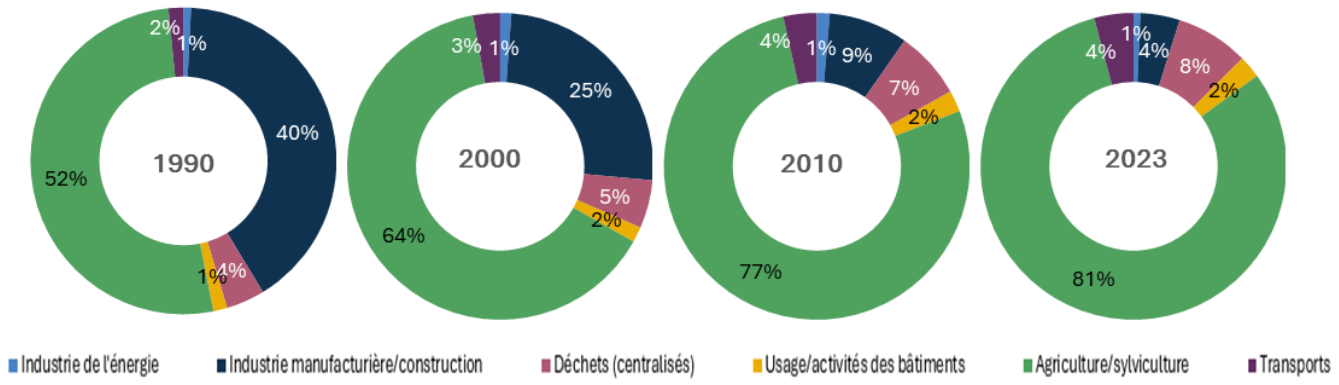
- établir un effort mondial de réduction des pertes d'azote au sein des négociations de la Convention des Nations Unies sur la Biodiversité ;
- inclure des options de gestion intégrée de l'azote dans la revue et la potentielle révision du Protocole de Göteborg.

Ce principe de gestion intégrée des nutriments est également inclus dans le pacte vert pour l'Europe (European Green Deal), au sein de la stratégie nommée « Farm to Fork ». On peut y lire que la Commission agira pour réduire les pertes d'éléments nutritifs (dont l'azote) d'au moins 50%, tout en veillant à ce qu'il n'y ait pas de détérioration de la fertilité des sols. L'utilisation de fertilisants devra également être réduite d'au moins 20% d'ici 2030. Pour cela, il sera nécessaire d'élaborer avec les États membres des plans d'action, visant entre autres à promouvoir les techniques de fertilisation de précision et des pratiques agricoles plus durables, en particulier dans les zones sensibles d'élevage.

A noter

Sont exclus du total national l'ensemble du trafic international fluvial, maritime et aérien.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de N_2O hors UTCATF en France

Tendance générale

Le principal secteur contributeur aux émissions de N_2O est l'agriculture. Ces émissions proviennent surtout des sols agricoles en lien avec les apports azotés de fertilisants minéraux et organiques.

Néanmoins, la tendance des émissions est avant tout marquée par la chute drastique des émissions industrielles de N_2O entre 1997 et 2011. En effet, certaines industries très émettrices de N_2O dans les années 90 (fabrication d'acide adipique, d'acide nitrique et d'acide glyoxylique) ont modifié leurs procédés et mis en place des systèmes de traitement très efficaces. En 2023, l'industrie ne représente plus qu'une part très modeste des émissions de N_2O (1,1 $MtCO_2e$ soit 4,2%), l'essentiel des émissions provenant désormais de l'agriculture (21,8 $MtCO_2e$ soit 81%).

Ces émissions agricoles présentent une tendance à la baisse sur toute la période 1990-2023 (- 5,9 $MtCO_2e$ soit - 21,3%). Cette dynamique globale de baisse observée en agriculture est à mettre au crédit d'une fertilisation minérale également à la baisse en lien avec la prise de conscience des enjeux environnementaux associés à l'azote (en particulier pour lutter contre la pollution de l'eau par les nitrates d'origine agricole, en lien avec la mise en place de la Directive Nitrates). Cette baisse correspond à une meilleure utilisation de l'azote, les rendements agricoles n'ayant pas été affectés par cette réduction de la fertilisation.

Entre 2011 et 2018, la fertilisation azotée minérale est stable voire augmente légèrement ce qui s'explique par différents éléments : la remise en cultures des terres

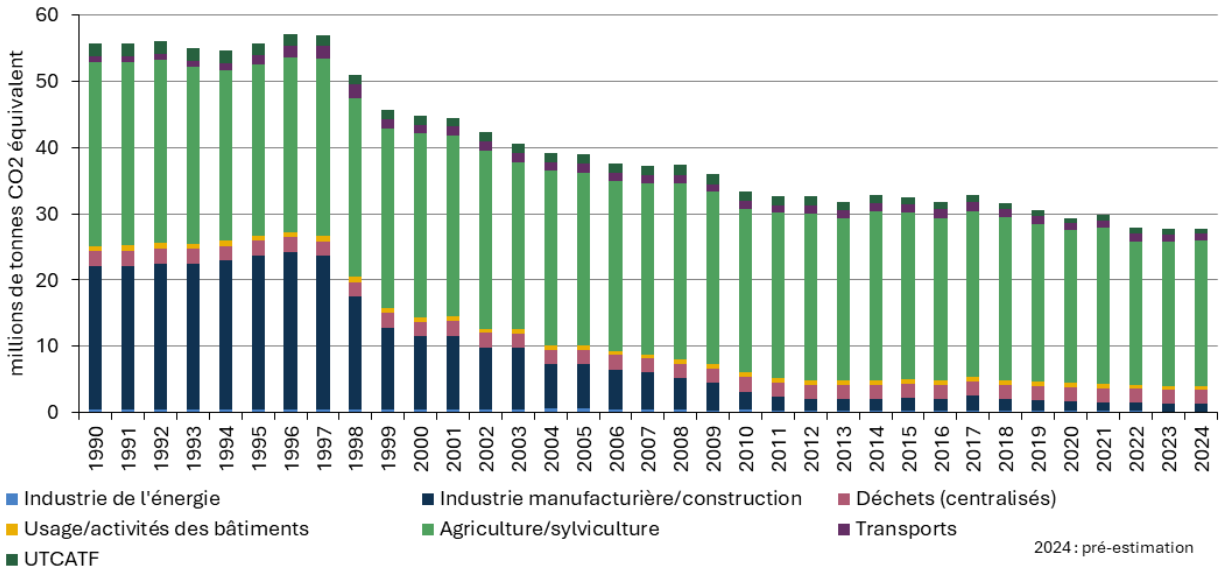
laissées en jachère obligatoire avant 2008, l'atteinte de niveaux de fertilisation minérale proches des préconisations et sans doute, sur les dernières années, une attention redoublée sur la teneur en protéines des céréales. En effet, la teneur en protéines des céréales est (en partie) liée à la quantité d'azote disponible et la filière aval d'utilisation des céréales impose désormais des critères exigeants. Les agriculteurs préfèrent donc assurer la fertilisation azotée sur les céréales. A partir de 2019 les livraisons d'engrais minéraux azotés se replient à un rythme plus soutenu de 5% par an en moyenne en lien avec le contexte de prix élevés de l'énergie (reprise post-Covid, guerre en Ukraine…).

Pour limiter les émissions de N_2O liées à cette fertilisation, peu de solutions techniques sont actuellement disponibles. Les émissions de N_2O des sols sont très dépendantes des conditions pédoclimatiques (les plus fortes émissions ayant lieu, après les épandages d'azote, après des épisodes pluvieux) et la variabilité interannuelle des émissions est par conséquent très forte (même si non reflétée dans les inventaires actuels). Il existe des techniques qui ne requièrent pas de baisser la fertilisation, mais elles sont encore du domaine de la recherche (modification du pH du sol, ensemencement bactérien, etc.) du fait de l'incertitude associée à l'estimation de ces émissions. La principale piste étudiée en France actuellement concerne l'effet du chaulage qui tend à faire baisser ces émissions de N_2O.

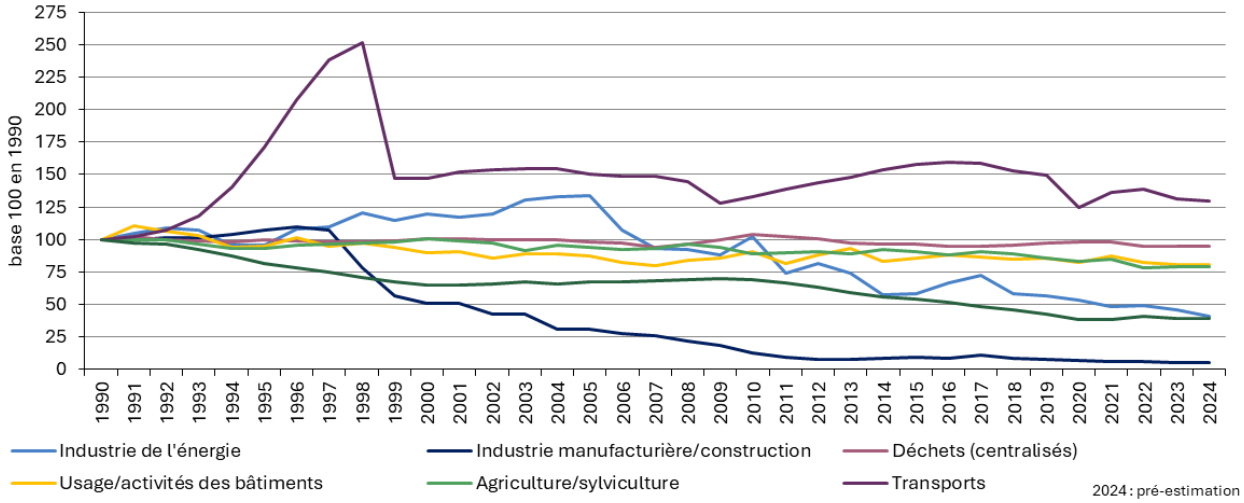
Dans le même temps, sur l'ensemble de la période, les évolutions observées en élevage (baisse du cheptel bovin notamment) impactent les émissions de N_2O. Il est difficile d'en faire un bilan complet car cet impact est réparti sur plusieurs sources dans l'inventaire : cela inclut les émissions liées aux fertilisants organiques, à la pâture, aux bâtiments d'élevage et au stockage des déjections. L'ensemble de ces émissions de N_2O étant plutôt à la baisse sur la période 1990-2023.

D'autres secteurs influent à la marge les émissions de N_2O :

- le traitement des déchets, du fait du rejet des eaux usées domestiques et industrielles traitées ;
- le transport routier, dont les émissions sont en augmentation suite à l'introduction progressive des pots catalytiques. La baisse observée en 2009 s'explique par la diminution du taux de soufre dans tous les carburants (passage de 50 ppm à 10 ppm, impact principalement visible pour les véhicules particuliers essence) qui influence les émissions de N_2O. Entre 2010 et 2018, la reprise du trafic explique l'augmentation des émissions.



Evolution des émissions dans l'air de N_2O depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air de N_2O en base 100 en 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Atteinte des objectifs

La stratégie nationale bas carbone (SNBC) de la France se traduit par une série de budgets carbone, dont l'ambition initiale pour le N_2O a été renforcée en 2018. L'importance de réduire les émissions de N_2O a par ailleurs été intégrée au sein de la loi Climat et résilience avec une proposition, au sein du volet agroécologie (article 268), visant la mise en place par décret d'une trajectoire annuelle de réduction des émissions de N_2O (objectif de réduction de 15% en 2030 par rapport à 2015). Le décret n° 2022-1654 du 26 déc. 2022 définit plus précisément ces objectifs, au niveau de l'article 4, en formulant un objectif de réduction en valeur relative par rapport à l'année 2015 ce qui permet de s'affranchir des mises à jour méthodologiques.

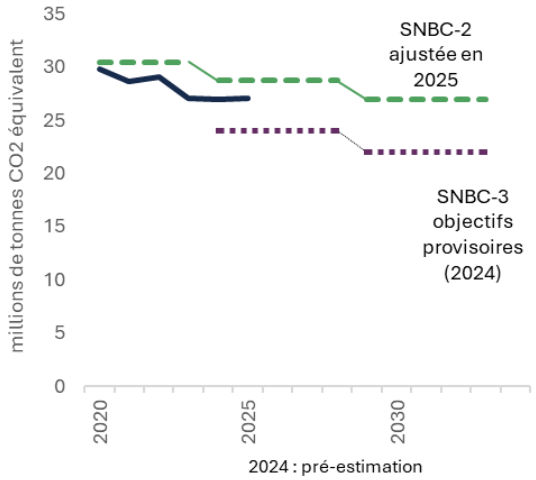
Année	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Objectif de réduction	7,0%	8,0%	9,0%	10,0%	11,0%	12,0%	13,0%	14,0%	15,0%

Objectifs annuels de réduction des émissions de N2O du secteur agricole (hors UTCATF) par rapport à 2015

Le 1er budget carbone (2015-2018) défini par la SNBC-1 et décliné pour le N_2O seul avait été respecté.

En ajustant les budgets aux chiffres de la présente édition Secten (éd. 2025), l'ambition de la SNBC-2 pour la période 2019-2023 sur le N_2O est de 30 Mt CO_2e/an (total hors UTCATF), or, les niveaux d'émission entre 2019 et 2023 (de 26 à 29 MtCO_2e/an) sont déjà inférieurs à ce budget. L'objectif est donc atteint pour cette période. Pour la période 2024-2028, l'objectif provisoire de la SNBC-3 est de 24 MtCO_2e/an, soit une baisse des émissions annuelles de 11% par rapport au niveau de 2023. C'est un objectif ambitieux qui ne semble pas atteint en 2024 selon nos estimations (27 MtCO_2e/an) mais pourrait l'être en fin de période si les bonnes pratiques proposées dans la SNBC se développent. Ces dernières visent en priorité le secteur agricole. Il s'agit :

- D'optimiser le cycle de l'azote pour réduire au maximum les excédents azotés, en développant l'implantation de légumineuses, en valorisant au mieux l'azote présent dans les déjections animales, en adaptant les apports aux besoins des cultures, en sélectionnant des variétés adaptées à un bas niveau d'intrants ou encore en améliorant les conditions du sol pour diminuer les émissions de N_2O (pH, par exemple) ;
- De réduire les excédents d'apports protéiques dans les rations animales ;
- D'améliorer l'autonomie en protéines végétales.



Emissions de N_2O et objectifs en cours en France

Le budget final prévu pour le N_2O pour la période 2029-2033 est de 22 Mt CO_2e/an (total hors UTCATF), soit une réduction de 18% par rapport au niveau de 2023. Notons que depuis la fixation des budgets par gaz, un changement de méthodologie dans le calcul des émissions de N_2O agricoles suite à l'application des lignes directrices du GIEC 2019 a engendré le recul des émissions rapportées de N_2O.

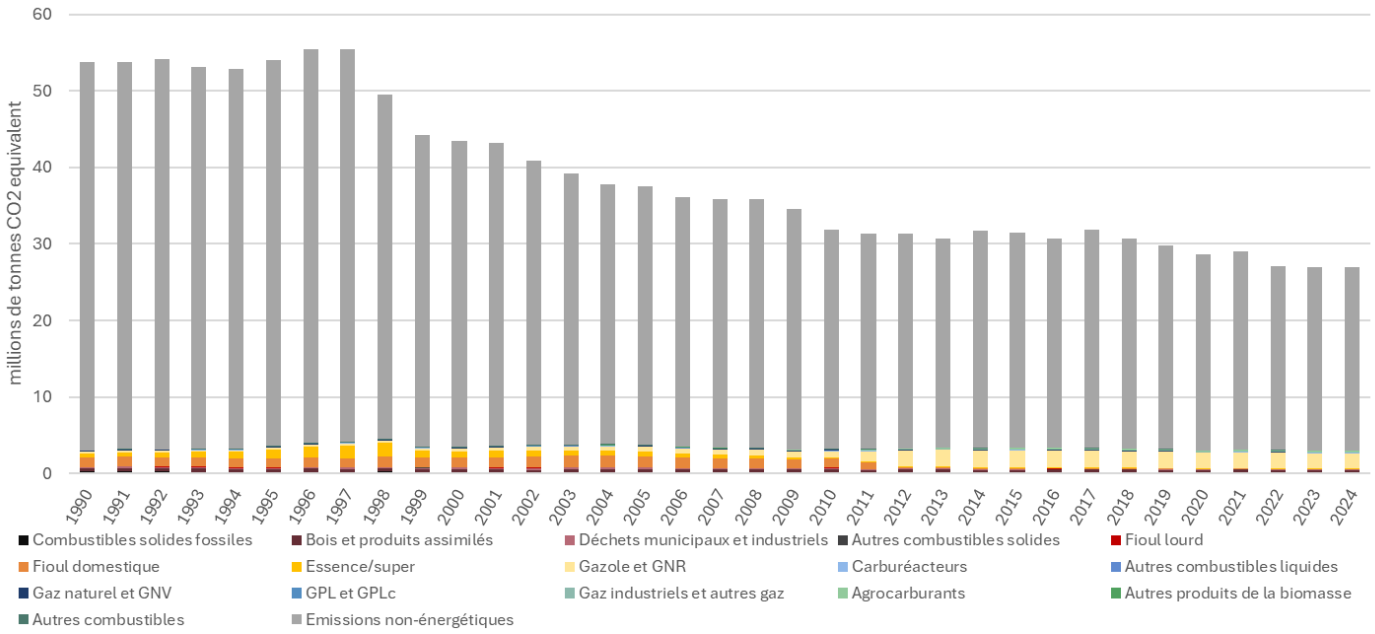
Évolution récente

Depuis 2015, les émissions de N_2O sont globalement en repli (- 2%/ an) et ce rythme doit se maintenir pour atteindre les objectifs SNBC-3 sur la période 2029-2033. C'est le secteur agricole qui apparait le plus concerné par cet enjeu : il importe donc de trouver des solutions pour baisser ces émissions bien que les moyens de réduction soient loin d'être évidents à mettre en place. Ces progrès pourront aller de pair avec la compréhension des mécanismes d'émissions qui pourront mettre en avant des différences marquées entre les pratiques et les situations, ce qui n'est actuellement pas suffisamment le cas pour promouvoir des actions efficaces.

Entre 2022 et 2023, les émissions se stabilisent (- 0,4%) en lien avec une légère hausse dans le secteur agricole (+ 0,7%). La poursuite de la décapitalisation du cheptel bovin contribue à faire baisser les émissions agricoles de N_2O, de même que la baisse des apports d'engrais minéraux et d'effluents d'élevage sur les sols agricoles. Cet effet est toutefois compensé par les émissions liées au retour au sol des résidus de culture plus important en 2023 qu'en 2022 (hausse de la production d'herbe et de maïs fourrage notamment).

Part des émissions liées aux combustibles

En France, les émissions de N_2O ne sont que très peu liées aux combustibles. Sur les dernières années, il s'agit surtout d'émissions liées à l'usage de gazole (véhicules Diesel).



Répartition des émissions de N_2O par combustible en France (Métropole et Outre-mer UE)

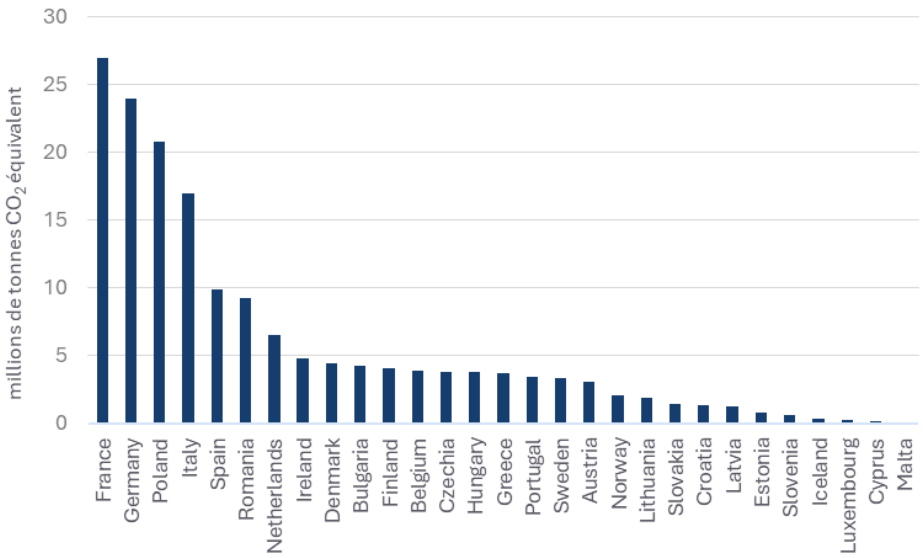
Et ailleurs ?

Selon le 6e rapport d'évaluation du GIEC, les émissions mondiales de N_2O sont en hausse continue depuis trente ans passant de 2,0 $GtCO_2e$ à 2,7 $GtCO_2e$ en 2019. Le rythme moyen de hausse des émissions étant moins marqué pour le N_2O que pour le CO_2, sa part dans les émissions mondiales diminue passant de 5,2% à 4,5% sur 1990-2019 (tableau ci-dessous).

	1990	2000	2010	2019
CO_2 FFI[a]	22,7	25,8	34,2	37,9
CO_2 LULUCF[b]	5,0	5,1	5,3	6,6
CH_4	8,2	8,4	9,7	10,6
N_2O	**2,0**	**2,2**	**2,4**	**2,7**
Fgas	0,4	0,7	0,9	1,4
Total	38,3	42,2	52,5	59,1

Emissions nettes mondiales de GES ($GtCO_2e.an^{-1}$) entre 1990 et 2019.
(a) combustion de carburants fossiles et procédés industriels, (b) usage des terres, leur changement et forêt

D'après l'interface de visualisation des données d'émissions de GES de la CCNUCC, la France en 2021 est au 1er rang des pays émetteurs de N_2O au sein de l'UE.



Emissions de N_2O hors UTCATF par pays européen en 2023 (kt CO_2e)

Les écarts observés des émissions de N_2O selon les pays proviennent essentiellement des surfaces en terres arables et du taux de fertilisation des cultures. Selon Eurostat, la France détient 18% des terres arables de l'UE-27 suivie de l'Espagne (12%), l'Allemagne (12%), la Pologne (11%), la Roumanie (9%) et l'Italie (7%). On retrouve bien ces principaux pays dans les principaux émetteurs de N_2O avec quelques différences s'expliquant par des pratiques différenciées selon les pays (apports azotés, assolements, prévalence de l'agriculture biologique...).

GF | Gaz fluorés

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Les gaz fluorés englobent plusieurs familles de gaz à effet de serre. Dans le cadre de l'inventaire national, seuls les gaz fluorés du « panier Kyoto » : les HFC (HydroFluoroCarbures), les PFC (PerFluoroCarbures), le SF_6 (l'hexafluorure de Soufre) et le NF_3(Trifluorure d'azote) sont soumis à obligation de rapportage et doivent être pris en compte dans l'inventaire. Les CFC (ChloroFluoroCarbures) et les HCFC (Hydro-ChloroFluoroCarbures), du fait de la présence d'atomes de Chlore, sont des gaz appauvrissant la couche d'ozone dont l'utilisation est déjà réglementée par le Protocole de Montréal. Les HFC constituent la famille des gaz fluorés la plus utilisée actuellement, ils sont majoritairement utilisés dans les équipements du froid et de la climatisation. Les HFO, sous-famille des HFC à faible PRG, ne sont pas soumis à déclaration dans l'inventaire.

Composition chimique
Composés organiques avec au moins un atome de fluor.

Origine
Sources anthropiques : réfrigération et climatisation ; fabrication des mousses d'isolation ; aérosols ; protection incendie, semi-conducteurs, équipements électriques, agroalimentaire, résidentiel, chimie, climatisation automobile, micro-électronique. etc.

Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés
Les gaz fluorés sont de puissants gaz à l'effet de serre et contribuent aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre. Leur pouvoir de réchauffement global (PRG) varie selon les molécules composant les gaz, entre 1 et 23 500 (GIEC AR5).

Enjeux

Effets environnementaux

Les gaz fluorés sont caractérisés par un fort impact sur l'effet de serre. Leur PRG (Potentiel de Réchauffement Global) varie entre 1 et 23 500 (pour le SF_6) selon les valeurs du 5ème rapport du GIEC (voir chapitre comprendre nos données, section sur les PRG). Même s'ils ne représentent que 2,4% des émissions de GES en 2023, les émissions de gaz fluorés ont connu une forte croissance entre les années 1990 et le milieu des années 2010, car ils ont remplacé progressivement les CFC et HCFC, et sont de ce fait, des substances fortement réglementées.

Objectifs de réduction

Au niveau de l'UE

Le nouveau règlement F-Gas (UE) n° 2024/573 a été publié au journal officiel de l'Union Européenne en remplacement du règlement (UE) n° 517/2014 sur les gaz à effet de serre fluorés et est entré en vigueur le 11 mars 2024. Il constitue la deuxième révision du règlement initial, publié en 2006. L'objectif global de ce règlement est de parvenir à des réductions supplémentaires des émissions de gaz fluorés afin de contribuer à la réalisation d'une réduction globale de 55% des émissions de GES de l'ensemble des secteurs d'ici à 2030 et de la neutralité carbone de l'Europe à l'horizon 2050. Ce nouveau règlement renforce les dispositifs existants en matière de formation et certification des opérateurs, de confinement, de contrôles d'étanchéité, d'interdiction de mise sur le marché d'équipements, de réduction progressive de mise sur le marché des HFC, de récupération et retraitement, de lutte contre le trafic illégal et de contrôle des imports et exportations des produits et équipements. En particulier, la réduction de mise sur le marché des HFCs (hors HFO) est renforcée sur 2025-2035, étendue jusqu'en 2050 avec un objectif 0 HFC en 2050.

A noter, la règlementation européenne considère toujours les PRG du 4ème rapport du GIEC pour les HFC, contrairement à la CCNUCC qui impose d'utiliser désormais les PRG du 5ème rapport. Pour les HFO et les fluides non fluorés, le règlement européen prend en compte les valeurs du 6ème rapport du GIEC.

Au niveau national

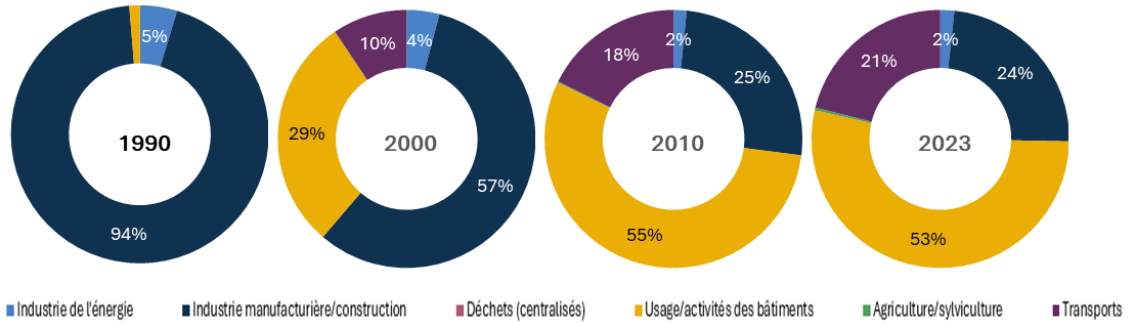
Les émissions de gaz fluorés sont visées par la Stratégie nationale bas carbone (SNBC). La SNBC-1 avait défini des premiers budgets carbone avec un objectif spécifique pour les gaz fluorés, dont un budget de 20 Mt CO_2e/an à respecter en moyenne sur la période 2015-2018.

La SNBC-2 a redéfini des budgets plus ambitieux pour les budgets carbone suivants, avec pour le 2e budget (2019-2023), un niveau de 25% inférieur au 1er budget, soit un niveau à atteindre de 15 Mt CO_2e/an en moyenne.

Réglementation

Les gaz fluorés font partie des substances très réglementées du fait de leur usage croissant, notamment en remplacement des CFC et HCFC, et de la forte augmentation de leurs émissions depuis 1990. Au niveau Européen, les émissions de gaz fluorés ont doublé entre 1990 et 2014. Les émissions de HFC constituent aujourd'hui plus de 90% des émissions de gaz fluorés et sont particulièrement visées, notamment par le règlement (EU) 2024/573.

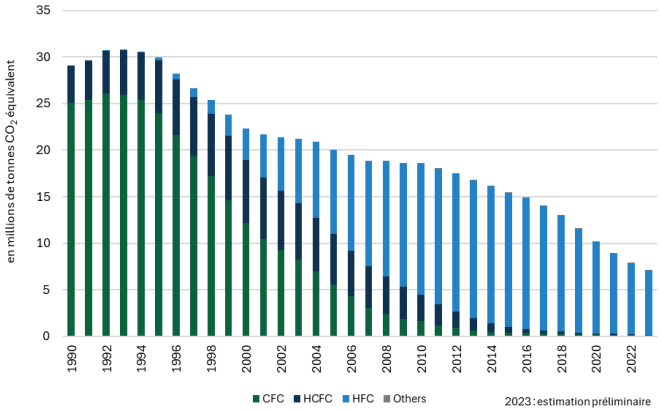
Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de gaz fluorés en France

L'évolution de la répartition sectorielle au cours du temps montre deux tendances :

- La réduction de la part de l'industrie manufacturière, essentiellement du fait de la récupération des émissions de sous-produits lors des procédés de fabrication des gaz fluorés ;
- L'accroissement progressif du secteur « usage et activités des bâtiments » qui contient à la fois les secteurs de la réfrigération (activités de froid commercial) et de la climatisation stationnaire dans les bâtiments résidentiels et tertiaires.



Emissions des différents gaz réfrigérants en Mt CO_2e. Source : Rapport Citepa pour l'AFCE

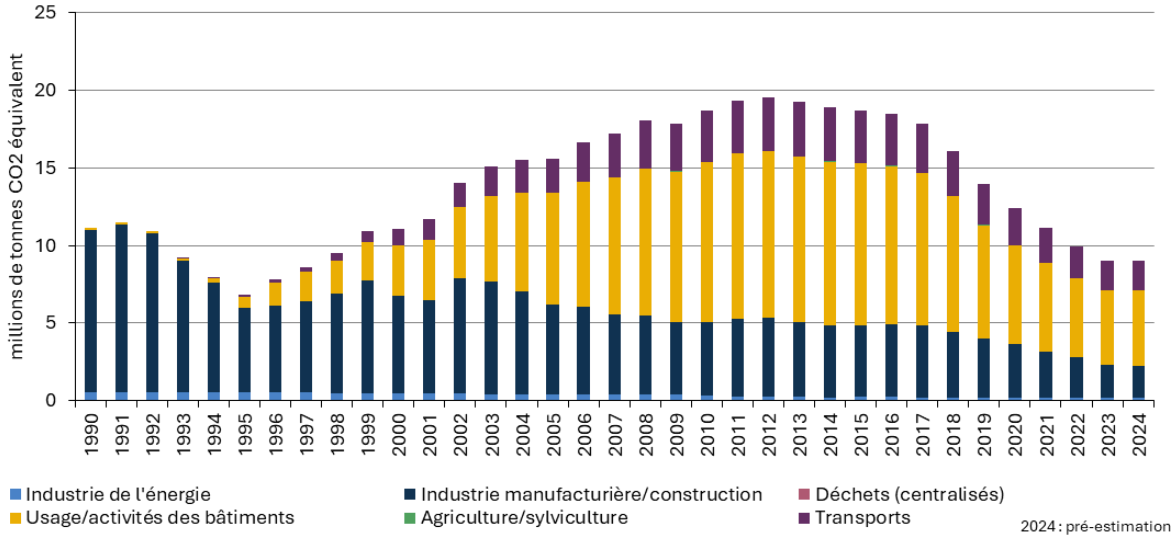
A noter

Les HFC ont remplacé progressivement les CFC et HCFC mais ces derniers étant régis par le protocole de Montréal, ils ne font pas partie des gaz fluorés pris en compte dans l'inventaire au titre de la CCNUCC et du protocole de Kyoto. Si l'on analyse les émissions totales de gaz fluorés incluant les CFC et HCFC depuis 1990, c'est bien une décroissance que l'on observe comme on peut le voir, ci-dessous, pour les secteurs du froid et de la climatisation.

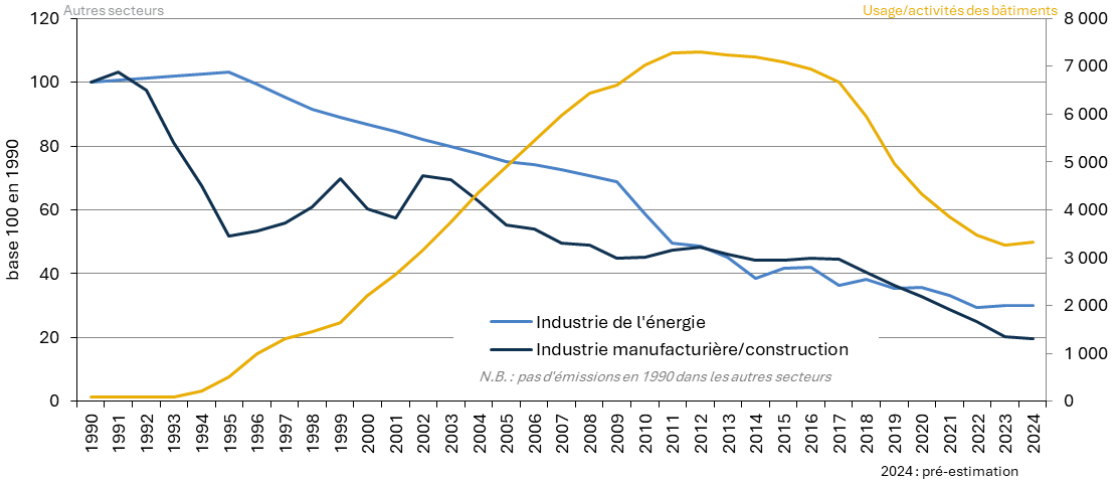
Tendance générale

Dans les années 1990, les émissions de gaz fluorés provenaient essentiellement de la production des HCFC. Les émissions de gaz fluorés ont ensuite été en forte croissance de 1995 à 2012. La tendance décroissante

observée entre 1990 et 1995 dans le secteur « *Industrie manufacturière* » provient de l'industrie chimique qui a mis en place des traitements permettant de réduire les émissions de HFC-23 au cours de la production du HCFC-22 (sous-produit). Après 1995, la forte augmentation des émissions de gaz fluorés est principalement liée à celles des HFC qui remplacent progressivement les CFC et HCFC notamment dans les secteurs du froid, de la climatisation et des aérosols, ainsi qu'à la croissance du parc d'installations de climatisation depuis 2003 (climatisation automobile, climatisation à air). Comme le montre le graphe ci-dessus, l'évolution des émissions de gaz fluorés en France (métropole & Outre-mer) est cohérente avec les objectifs de la SNBC–2.



Evolution des émissions dans l'air de gaz fluorés par secteur depuis 1990 en France

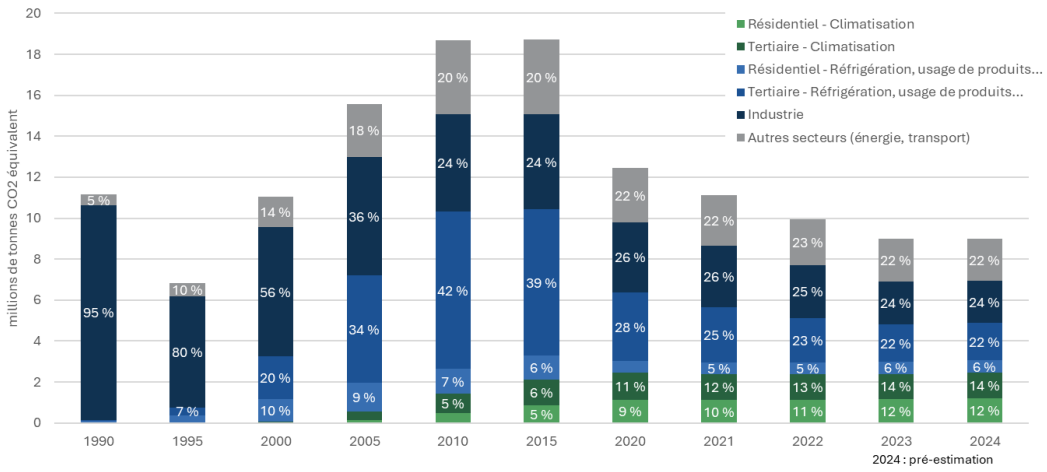


Evolution des émissions dans l'air de gaz fluorés en base 100 en 1990 en France

Évolution récente

La baisse observée depuis 2012, et très significativement à partir de 2018, vient principalement de la réduction des émissions de HFC. D'une part, dans le secteur de la climatisation automobile pour lequel la réglementation européenne a imposé l'utilisation progressive d'un fluide frigorigène de PRG<150 en remplacement du R-134a (PRG = 1430) ; d'autre part, dans les autres secteurs du froid et de la climatisation, le règlement européen F-Gas (UE) N° 517/2014 ayant introduit une réduction progressive des quantités de HFC disponibles sur le marché européen ainsi que des interdictions sectorielles d'usage de HFC au-delà d'un certain seuil de PRG.

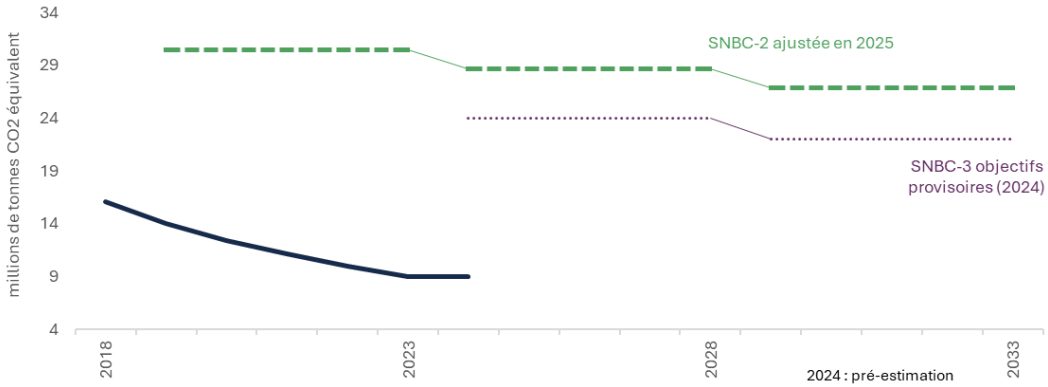
L'amélioration des pratiques de maintenance et de démantèlement des équipements a également permis de réduire les émissions au cours de la vie des équipements. Le secteur du résidentiel a subi la plus forte augmentation des émissions de gaz fluorés entre 1990 et 2020, comme le montre les graphiques ci-dessous : ce secteur inclut la climatisation des bâtiments mais également les systèmes de réfrigération du froid commercial et de l'agroalimentaire. Le secteur de l'industrie manufacturière a lui vu ces émissions diminuer fortement entre 1990 et 2010. Le graphique ci-dessous présente l'évolution entre 1990 et 2024 de la part des principales sources d'émissions de gaz fluorés en France. En 2023-2024, la réfrigération, représente environ 28% des émissions totales de gaz fluorés (dans le secteur tertiaire (22%) et le résidentiel (6%)) contre 49% en 2010. La part de la climatisation représente au total 26% des émissions de gaz fluorés en 2023-2024 (14% pour le tertiaire, 12% pour le résidentiel), et a fortement augmenté depuis 2010.



Evolution de la part des sous-secteurs principaux émetteurs de gaz fluorés en kt CO_2e

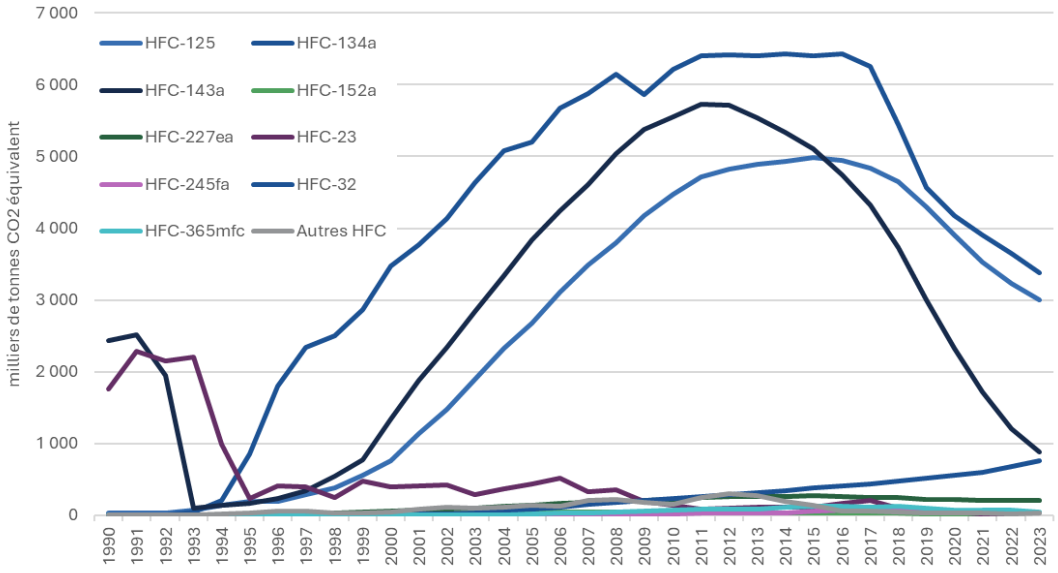
Atteinte des objectifs

Le budget carbone alloué au secteur des gaz fluorés dans le cadre de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC-2) pour la période 2019-2023 est fixé à 15 MtCO_2e. D'après les résultats de l'inventaire national, les émissions de gaz fluorés s'élèvent en moyenne sur la période 2019-2023 à 11,3 Mt CO_2e/an, respectant bien ce 2e budget.



Emissions des gaz fluorés et budgets SNBC-2, en Mt CO_2e

Spéciation



Evolution des émissions de HFC selon les différentes molécules en France (Métropole et Outre-mer UE)

Le graphe ci-dessus représente les émissions de HFC décomposés en fluides primaires, qui peuvent être utilisés seuls (R-32, R-134a) ou en mélange. Ce sont les HFC pour lesquels les émissions doivent être reportées dans les déclarations internationales. Les trois molécules dominantes sont le HFC-134a (PRG 1300, AR5), le HFC-143a (PRG 4800, AR5) et le HFC-125 (PRG 3170, AR5), Le HFC-143a entrant principalement dans la composition du R-404A (à 52%), ces émissions ont diminué avec l'amélioration des pratiques et l'introduction des nouvelles technologies en réfrigération à partir de 2011-2012. Plus récemment, depuis 2018, les interdictions programmées d'usage dans les installations neuves (2020-2022) et pour la maintenance (2020) des équipements de réfrigération ont eu un fort impact sur la réduction des émissions. Le HFC-125 entre dans la composition du R-404A mais aussi du R-410A et du R-407C, la réduction de son usage et de ses émissions est plus lente. Le R-134a est le fluide frigorigène le plus utilisé, seul ou en mélange. La forte réduction de ses émissions, depuis 2017, s'explique principalement par le renouvellement du parc de véhicules automobiles dont les systèmes de climatisation utilisent désormais le HFO-1234yf (PRG=1).

Dans le monde

D'après le 6e rapport d'évaluation du GIEC, les émissions anthropiques mondiales de gaz fluorés ont augmenté de 354% entre 1990 et 2019 (GIEC, AR6, voir extrait ci-dessous).

Elles représentent une part certes faible mais croissante des émissions totales mais ont la plus forte croissance d'émission des GES par rapport à 1990.

	2019 emissions ($GtCO_2$-eq)	1990–2019 increase ($GtCO_2$-eq)	Emissions in 2019, relative to 1990 (%)
CO_2-FFI	38 ± 3	15	167
CO_2-LULUCF	6.6 ± 4.6	1.6	133
CH_4	11 ± 3.2	2.4	129
N_2O	2.7 ± 1.6	0.65	133
F-gases	1.4 ± 0.41	0.97	354
Total	59 ± 6.6	21	154

HFC | Hydrofluorocarbures

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Les hydrofluorocarbures (HFC) sont des composés organiques halogénés gazeux utilisés en remplacement des CFC et HCFC, substances appauvrissant la couche d'ozone. Ils sont largement utilisés en tant que réfrigérants dans les systèmes de production de froid et de climatisation. Ils sont aussi utilisés dans les extincteurs d'incendie, dans les aérosols et en tant qu'agents d'expansion des mousses d'isolation.

Composition chimique
Composés d'atomes de carbone (six au plus), de fluor et d'hydrogène.

Origine
Sources anthropiques : réfrigération et climatisation ; fabrication des mousses ; aérosols ; protection incendie, agroalimentaire, résidentiel, chimie, climatisation automobile.

Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés
Les HFC sont de puissants gaz à l'effet de serre et contribuent aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre. Leur pouvoir de réchauffement global (PRG) varie selon les molécules composant les gaz, ci-dessous les valeurs des PRG des principaux composants des HFC (GIEC AR5) :

HFC-134a: 1 300
HFC-143a : 4 800
HFC-125: 3 170
HFC-32: 677

Enjeux

Impact sur l'effet de serre

Les HFC sont des gaz à effet de serre majoritairement utilisés dans les secteurs du froid et de la climatisation mais aussi dans les mousses d'isolation, les aérosols et les équipements d'extinction d'incendie. Leur impact sur le réchauffement climatique est caractérisé par un indice, le PRG (Potentiel de Réchauffement Global), comparant leur effet par rapport à celui du CO_2 (PRG=1).

Si les PRG des HFC peuvent aller jusqu'à 12 400 (HFC- 23), la majorité des réfrigérants ont cependant des PRG inférieurs à 4 000, et les HFC plus récemment développés sont des mélanges dont les PRG avoisinent 150. Dans les graphes de cette partie, les émissions sont présentées en tonnes de CO_2 équivalent (CO_2e) en tenant compte des PRG du 5ème rapport du GIEC.

Objectifs de réduction

Les secteurs utilisateurs de HFC ont été fortement marqués par la réglementation européenne (EU) N° 517/2014, entrée en vigueur au 1er janvier 2015, puis, plus récemment par la révision (EU) 2024/573 entrée en application en mars 2024. Elle renforce les mesures du précédent règlement F-Gas. Le règlement F-Gas 517/2014 prévoyait une réduction progressive (phasedown) des quantités CO_2 équivalentes de HFC autorisées à être mises sur le marché entre 2015 et 2030, des interdictions sectorielles d'usage et une restriction d'utilisation des HFC pour la maintenance des installations de réfrigération aux fluides frigorigènes de PRG < 2 500 à compter de 2020. Le règlement (EU) 2024/573 prévoit un renforcement de ces mesures, notamment un *phasedown* plus strict, étendu jusqu'en 2050 pour atteindre un niveau 0 HFC en 2050 (hors HFO). L'objectif du règlement EU 517/ 2014 était de réduire en 2030 les émissions de gaz fluorés de 60% par rapport au niveau 2005. L'objectif global du nouveau règlement est de parvenir à des réductions supplémentaires des émissions de gaz fluorés afin de contribuer à la réalisation d'une réduction globale de 55% des émissions de GES de l'ensemble des secteurs d'ici à 2030 et à la neutralité carbone à l'horizon 2050.

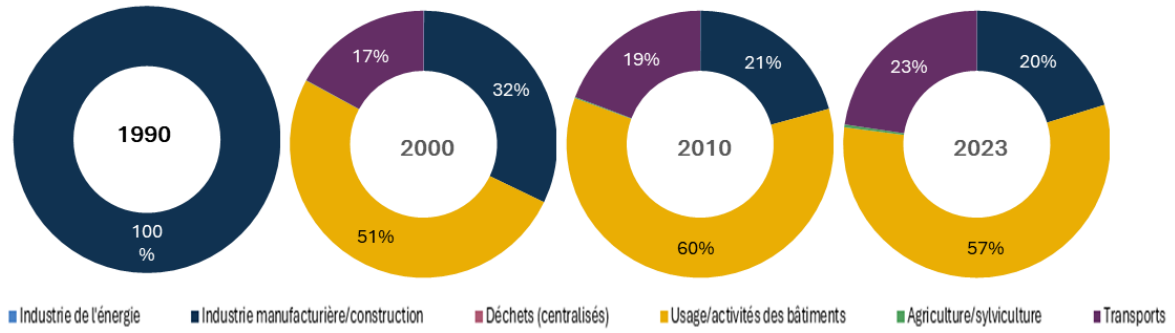
En France, la Stratégie nationale bas-carbone vise la réduction des émissions de gaz fluorés dans leur globalité (voir section Gaz fluorés).

Enjeux actuels

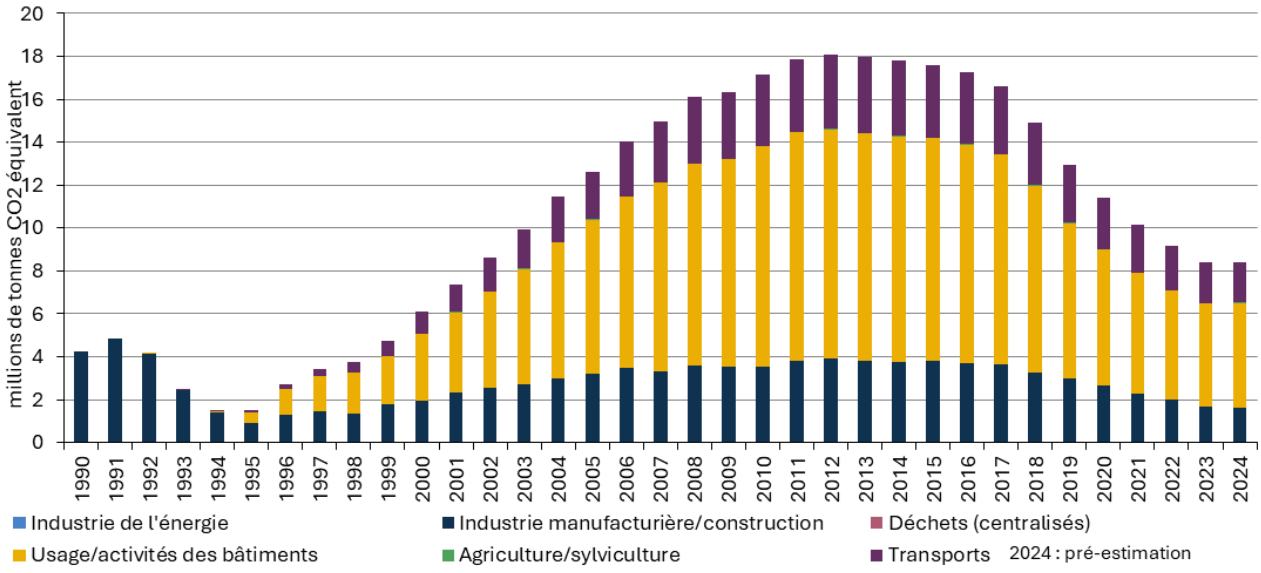
Le règlement (EU) n° 517/2014 et sa révision (EU) 2024/573 réduisent progressivement les quantités de HFC disponibles sur le marché européen. Des alternatives à l'usage des HFC à fort PRG ont progressivement été développées afin de répondre aux besoins en réfrigération et climatisation tout en

respectant le *phasedown* imposé par la règlementation européenne. L'enjeu est alors de réduire le PRG tout en garantissant une bonne efficacité énergétique. Certaines de ces alternatives sont inflammables, voire fortement inflammables comme les hydrocarbures. L'enjeu est alors d'adapter les normes et règlements nationaux de façon à en permettre l'usage tout en garantissant la sécurité des détenteurs, installateurs et opérateurs de ces équipements.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de HFC en France



Evolution des émissions dans l'air de HFC par secteur depuis 1990 en France (Métropole)

Au début des années 90, les émissions de HFC n'étaient liées qu'à l'industrie chimique, et à la production de gaz fluorés (incluse ici dans le secteur « industrie manufacturière »). Le HFC-23 était alors émis au cours de la production du HCFC-22 (sous-produit). Les réductions opérées dès 1992 par la mise en place de traitements ont permis une première baisse des émissions totales de HFC en France jusqu'en 1995.

Dans ce même secteur, à partir du début des années 2000, une nouvelle source d'émission est apparue liée à l'utilisation des HFC comme agent propulseur des mousses (polyuréthane, polystyrène expansé, etc.) en substitution des HCFC interdits du fait de leur impact sur la couche d'ozone. Ces HFC sont également émis dans le résidentiel/tertiaire mais en quantités très faibles. Les HFC ont progressivement remplacé les CFC et HCFC dans les équipements de réfrigération et de climatisation à partir de 1992-1993.

En climatisation automobile le CFC-12 a rapidement été remplacé par le HFC-134a sur le marché neuf des véhicules particuliers. Depuis les années 2000, avec le renouvellement progressif du parc de véhicules et la

pénétration croissante de la climatisation sur le marché, les émissions de HFC de ce secteur (sous-secteur Transports) représentent une part très significative des émissions de HFC des secteurs utilisateurs (environ 20% depuis 2005). Cependant, la directive MAC (842/2006) a imposé l'utilisation d'un fluide frigorigène de PRG < 150 dans tous les véhicules particuliers mis sur le marché européen depuis le 1er janvier 2017. A noter que l'obligation ne concerne pas les véhicules destinés à l'exportation ni les véhicules utilitaires légers. Le R-1234yf (PRG = 1) remplace désormais le R-134a (PRG 1 300). Les émissions du secteur des autres modes de transport (hors routier) proviennent essentiellement du transport aérien (utilisation d'aérosols techniques).

Les émissions du secteur appelé « résidentiel/tertiaire » représentent environ 55% des émissions de HFC depuis 2005 ; elles incluent à la fois les émissions liées à la climatisation fixe mais également celles des installations frigorifiques en froid commercial (supermarchés, hypermarchés, petits commerces) et entrepôts. Les principales applications émettrices sont la réfrigération commerciale, encore fortement utilisatrice du HFC-404A (PRG 3 943) pour la maintenance de son parc d'installations et la climatisation dont le parc d'équipements est en croissance continue.

L'interdiction d'usage des HCFC dans les équipements neufs date des années 2000 (2003 pour les derniers équipements de climatisation autorisés à être mis sur le marché). La réglementation Ozone (CE 2037/2000) interdit l'utilisation de HCFC neufs pour la maintenance des équipements depuis 2010 (et de HCFC régénérés depuis 2015). Les dernières installations aux HCFC ont donc été converties ou renouvelées pour des équipements utilisant des HFCs dans les années 2010-2015, ce qui explique la forte croissance des émissions du résidentiel dans ces années-là.

L'année 2020 a marqué le début de l'interdiction du HFC-404A dans les installations de réfrigération par le règlement F-Gas. Des conversions d'installations vers de nouveaux mélanges de PRG autour de 1400 a permis de réduire progressivement les émissions du froid commercial, au fur et à mesure de la transformation du parc. Dans le secteur de la climatisation, la généralisation du R-32 à la place du R-410A a permis également de réduire fortement les émissions CO_2 équivalent. Parallèlement, du fait de la pénurie des HFC à fort PRG, du fait de la réglementation européenne, les taux d'émission et la récupération ont été améliorés pour palier le besoin à la maintenance notamment. Depuis 2018, la réduction annuelle des émissions de HFC est très significative, de l'ordre de 10% par an.

PFC | Perfluorocarbures

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Les PFC sont des composés halogénés gazeux synthétisés exclusivement par voie chimique.

Composition chimique
Composés d'atomes de carbone et de fluor.

Origine
Source anthropique : utilisation des PFC en industrie manufacturière lors des étapes de production des semi-conducteurs. Ils sont produits lors de l'électrolyse de l'aluminium et de la production de l'acide trifluoroacétique. Certains sont aussi utilisés dans les secteurs des cosmétiques et du médical.

Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés
Les PFC participent à l'effet de serre et contribuent aux conséquences multiples de son augmentation. Le pouvoir de réchauffement global (PRG) varie selon les différents gaz ; les valeurs utilisées dans l'inventaire national (GIEC AR5) sont données ci-dessous pour les PFC les plus utilisés :

PFC-14 (CF4) : 6 630

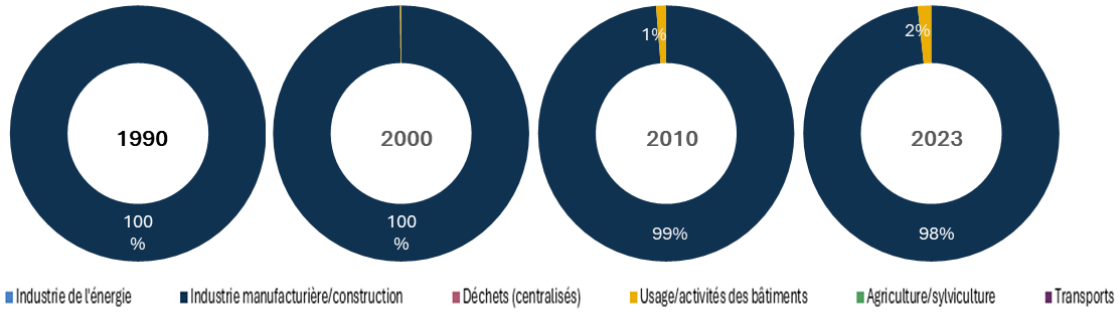
PFC-116 (C2F6) : 11 100

C6F14 : 7 910

Effets
Santé,

Effet de serre

Principaux secteurs émetteurs

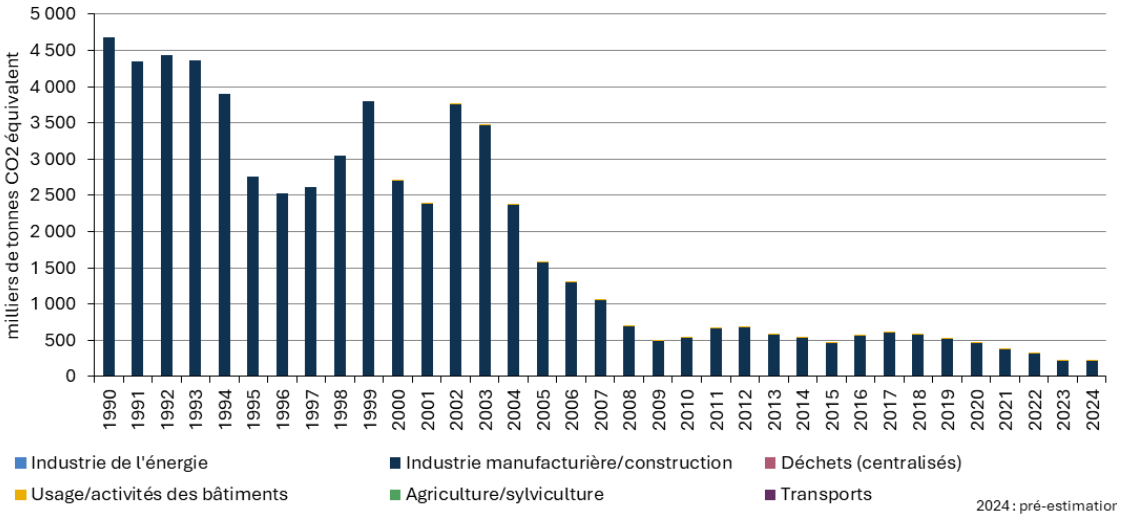


Répartition des émissions de PFC en France

Tendance générale

Dans les graphes de cette partie, les émissions sont présentées en tonnes de CO_2 équivalentes. Parmi les différents secteurs considérés dans Secten, en 1990, le seul contributeur aux émissions de PFC en France métropolitaine était l'industrie manufacturière. Dans ce secteur, les principales activités contribuant aux émissions de PFC sont les suivantes :

- la production d'aluminium de première fusion (PFC générés au cours du procédé),
- la production de trifluoroacétique (TFA) et de gaz fluorés,
- la fabrication de semi-conducteurs et de panneaux photovoltaïques (utilisation de PFC),
- l'utilisation de PFC en tant que solvants.



Evolution des émissions de PFC depuis 1990 en France (Métropole)

En 1990, la production d'aluminium (sous-secteur métallurgie des métaux non-ferreux) représentait plus des deux tiers des émissions totales nationales de PFC.

Les émissions ont fortement diminué entre 1990 et 1996 à la suite de progrès réalisés dans l'industrie de la production d'aluminium de première fusion et de la mise en place d'un incinérateur sur un site de production de gaz fluorés. Les émissions ont ensuite connu de fortes fluctuations, traduisant, d'une part, une progression sensible de la production d'aluminium associée à une maîtrise non optimale des rejets et, d'autre part, un développement de l'industrie des semi-conducteurs (inclus dans le sous-secteur « biens d'équipements »).

Un retour à une situation maîtrisée pour l'aluminium en 2000 et 2001 a conduit à des niveaux d'émission plus faibles, malgré des difficultés résiduelles expliquant les résultats de 2002 et 2003.

La baisse observée depuis 2004 s'explique principalement par l'effet cumulé de la fermeture de deux sites de production d'aluminium, l'un en 2003 et l'autre en 2008, d'une production nationale stable à laquelle s'ajoute l'amélioration des performances sur un autre site producteur d'aluminium, à partir de 2005.

Depuis 2000, les PFC ont fait leur apparition dans le secteur « Usage/activités des bâtiments ». Les émissions proviennent des applications médicales et cosmétiques. La part des émissions de PFC dans le secteur « Usage/activités des bâtiments » est toutefois très faible en comparaison des émissions du secteur de l'industrie manufacturière.

Évolution récente

Le profil des émissions de PFC de ces dernières années a beaucoup évolué par rapport à 1990. En effet, alors que la production d'aluminium était le principal contributeur aux émissions de PFC avec plus de deux tiers des émissions totales nationales en 1990, il ne représente aujourd'hui qu'environ 10% des émissions totales de PFC en France. Les émissions de PFC proviennent désormais en majorité de l'utilisation de solvants (sous-secteur « biens d'équipements ») pour près d'un tiers alors que ce secteur était inexistant en 1990.

Sur la période 1990 – 2023, les émissions de PFCs ont chuté (-95,4%). Les PRG des différents PFC émis sont élevés, ils se situent dans une fourchette de 6 630 à 11 100 (AR5).

Ces dernières années, les émissions de PFC se sont stabilisées et se situent en-dessous de 1 000 kt CO2e depuis 2008, oscillant entre 400 kt et 700 kt. Il convient de souligner que les PFC sont peu impactés par les réglementations gaz fluorés. Ils ne sont pas concernés par la réduction des quantités autorisées à être mises sur le marché (phasedown) prévue par le règlement (EU) n° 517/2014 et les interdictions sectorielles concernant le secteur protection incendie ne les impactent pas puisqu'en France, seuls le HFC-23 et le HFC-227ea sont utilisés pour cette application. Par conséquent, une forte évolution à la baisse des émissions n'est pas attendue ces prochaines années, comme en témoigne la stagnation des émissions ces dernières années

SF_6 | Hexafluorure de soufre

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Synthétisé exclusivement par voie chimique, l'hexafluorure de soufre (SF_6) est un gaz dont les propriétés thermiques et chimiques conduisent à un usage dans un certain nombre d'applications techniques : agent diélectrique et de coupure dans les équipements électriques, gaz protecteur pour les fonderies de magnésium.

Composition chimique
Six atomes de fluor (F) et un atome de soufre (S).

Origine
Sources anthropiques : production d'électricité, biens d'équipement et matériels de transport (composés électriques et électroniques).

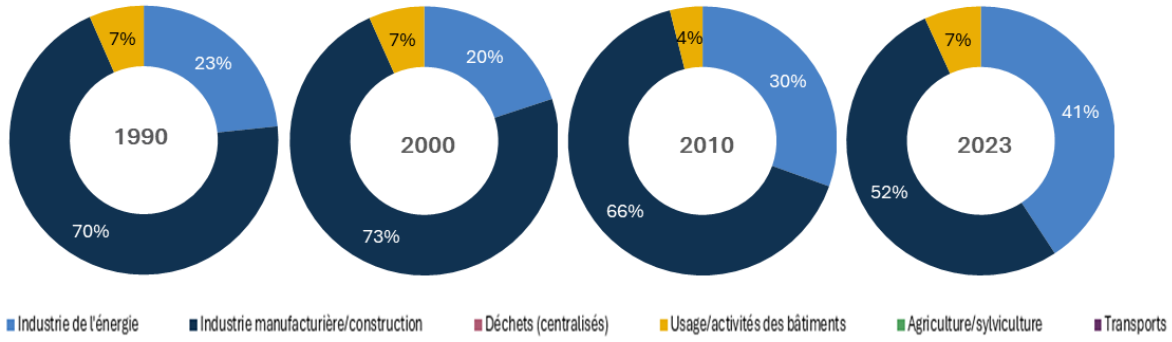
Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés
Le SF_6 a un pouvoir de réchauffement global (PRG) de 23 500 (AR5), c'est à-dire 23 500 fois plus élevé que celui du CO_2. Il contribue aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre.

Effets
Effet de serre

Santé (asphyxiant à forte concentration)

Principaux secteurs émetteurs



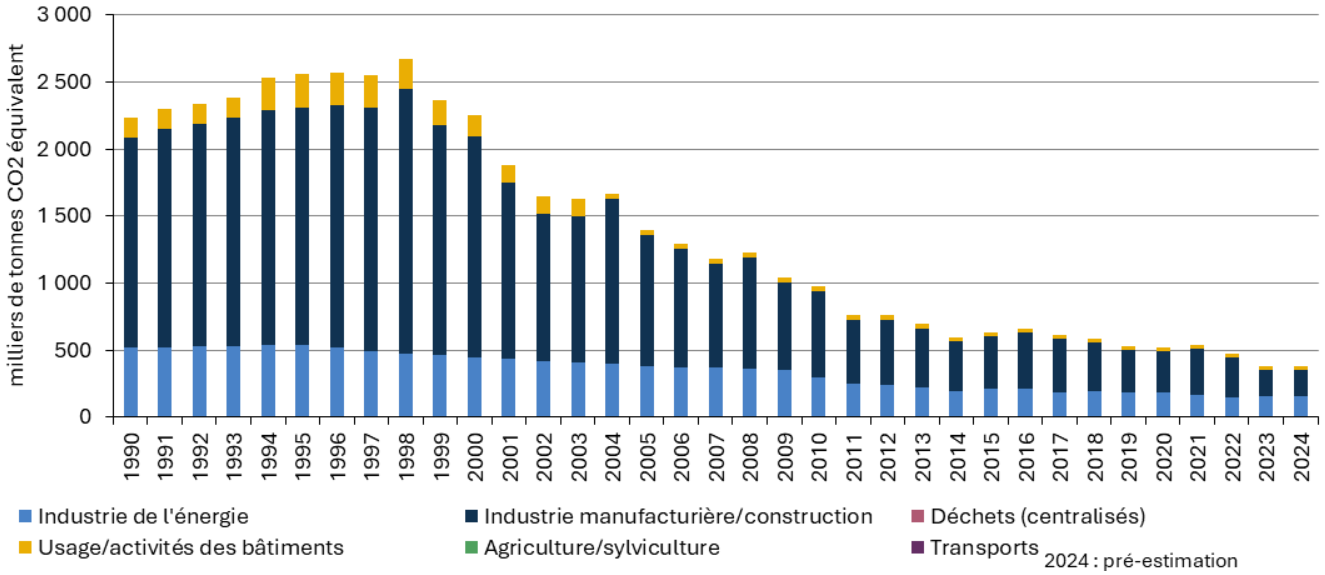
Répartition des émissions de SF_6 en France

Tendance générale

Les émissions de SF_6 sont principalement engendrées par la production de magnésium, la fabrication et l'utilisation des équipements électriques haute tension, la fabrication de câbles et les accélérateurs de particules. De façon anecdotique, le SF_6 peut également être utilisé dans l'industrie du spectacle. En effet, ce gaz permet des prestations inverses de celles qu'offre l'Hélium. Le SF_6 étant un gaz dense, la propagation de la voix à travers le gaz est plus lente et la voix est plus grave.

Parmi les différents secteurs considérés dans Secten, seuls trois contribuent aux émissions de SF_6 en France métropolitaine qui sont, par ordre d'importance :

- l'industrie manufacturière (production de magnésium),
- la transformation d'énergie (utilisation des équipements électriques),
- le résidentiel/tertiaire (faible contribution liée principalement à la distribution d'énergie).



Evolution des émissions de SF_6 depuis 1990 en France (Métropole)

Entre 1990 et 2023, les émissions de SF_6 ont diminué de 83%. Cette baisse est observée sur l'ensemble des principaux secteurs émetteurs mais elle est la plus marquée dans le secteur de l'industrie manufacturière. En revanche, la baisse des émissions est moins significative pour le secteur de l'industrie de l'énergie qui représente, par conséquent, une part plus importante des émissions totales de SF_6 en 2023 (40%) qu'elle ne l'était en 1990 (23%).

Sur la période 1990-2023, les émissions de l'industrie manufacturière ont donc fortement baissé (-87%). Cette évolution est notamment liée :

- aux réductions de consommation de SF_6 dans l'industrie du magnésium. Le seul site de 1ère fusion a fermé ses portes en 2002 mais a été reconverti pour recycler le magnésium et a consommé à nouveau du SF_6 de 2003 à 2006,
- aux fluctuations de l'activité de fabrication de disjoncteurs/transformateurs haute et moyenne tension électrique ainsi qu'aux contrôles des émissions de SF_6 notamment à la suite d'un engagement des industriels à réduire leurs émissions dès 2000,
- enfin, aux réductions de consommation de SF_6 des fabricants de câbles électriques après la mise en place de systèmes de récupération sur certains sites.

Pour le secteur de l'industrie de l'énergie, la légère baisse à partir de 1995 s'explique par l'amélioration de l'étanchéité des appareils (disjoncteurs et interrupteurs haute tension contenant du SF_6) et des procédures de maintenance, malgré l'augmentation du parc. Depuis 1998, l'amélioration des équipements chargés en SF_6 a permis de réduire les émissions, notamment grâce à un accord volontaire signé en 2004 pour limiter les émissions lors de la construction, la durée et la fin de vie des équipements.

La forte baisse constatée dans le secteur « Usage/activités des bâtiments » à partir de 2004 résulte de l'arrêt de l'utilisation d'un accélérateur de particules qui consommait du SF_6 en grande quantité.

Évolution récente

La baisse des émissions nationales se poursuit de 2010 à 2014 et s'explique, d'une part, par une moindre production d'équipements électriques et une diminution des fuites de SF6 du parc d'appareils électriques français et, d'autre part, par la réduction des émissions de SF6 issues des fonderies de magnésium et des industries de fabrication de câbles. Depuis, les émissions sont relativement stables. On peut noter, en 2015 et 2016, une légère hausse des émissions, engendrée notamment par des fuites plus importantes au niveau des équipements électriques (vieillissement du parc et conditions climatiques défavorables).

Ces dernières années, les fonderies ont eu tendance à remplacer le SF_6 par des gaz de substitution (HFC-134a, NaCl, SO_2, etc.) pour répondre aux exigences européennes et à l'une interdiction d'utilisation de ce gaz dès le 1er janvier 2018 (règlement (EU) n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés). Les émissions de SF_6 dans l'industrie manufacturière ont ainsi continué de diminuer lors des années récentes, alors qu'elles stagnent pour les secteurs « Industrie de l'énergie » et « Usage/activités des bâtiments ».

La réglementation européenne ((EU) n° 517/2014) n'interdisait pas l'utilisation de SF_6 dans les équipements électriques car des alternatives fiables et rentables n'existaient pas. De nombreux travaux de recherches d'alternatives au SF_6 existent même si des freins sont identifiés (place plus importante requise, prix d'achat plus élevé, conformité aux caractéristiques techniques, fournisseurs, etc.). Le règlement européen 2024/573 publié en février 2024, met en place de nouvelles restrictions sur l'ensemble des gaz fluorés. Concernant le SF_6, cette règlementation vise à réduire la production et l'utilisation de SF_6, en demandant à augmenter sa capacité de régénération et, à partir du 1er janvier 2035, en interdisant l'utilisation de SF_6 pour la maintenance ou l'entretien d'équipements de commutation électrique à moins qu'il ne soit régénéré ou recyclé. Deux interdictions d'utilisation de SF_6 concernent des activités spécifiques :

- le moulage sous pression du magnésium et le recyclage des alliages de magnésium moulés sous pression
- le gonflage des pneumatiques automobiles

NF_3 | Trifluorure d'azote

Type
Gaz à effet de serre

Définition
Le trifluorure d'azote (NF_3) est un composé inorganique. C'est un gaz inodore, incolore et non inflammable.

Le NF3 est un polluant comptabilisé parmi les GES dans le cadre du Protocole de Kyoto depuis la conférence de Doha.

Composition chimique
Trois atomes de fluor (F) et un atome d'azote (N).

Origine
Source anthropique : fabrication de composants électroniques (semi-conducteurs, panneaux solaires de nouvelle génération, téléviseurs à écran plat, écrans tactiles, processeurs électroniques).

Source naturelle : aucune.

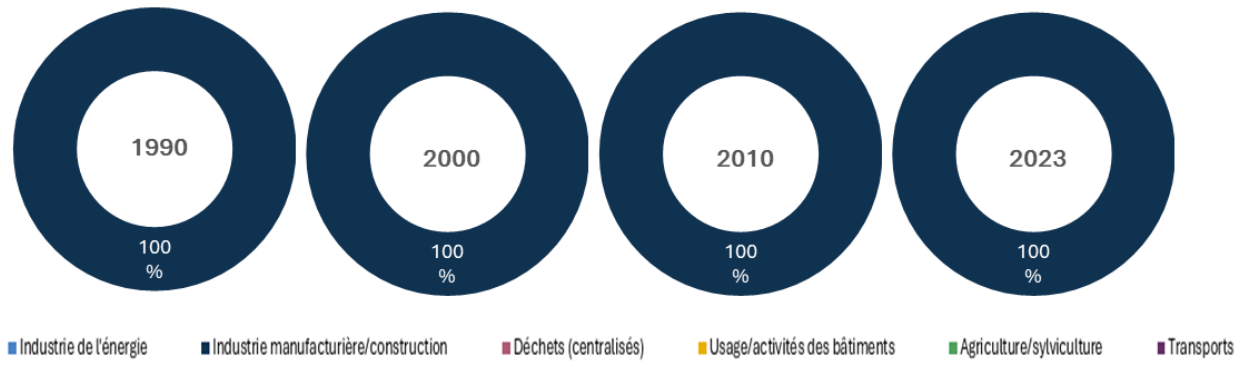
Phénomènes associés
Le NF_3 a un pouvoir de réchauffement global (PRG) de 16 100, c'est-à-dire 16 100 fois supérieur à celui du CO_2 (GIEC, AR5).

Contribution aux conséquences multiples de l'augmentation de l'effet de serre.

Effets
Effet de serre

Santé (toxique)

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de NF_3 en France

Tendance générale

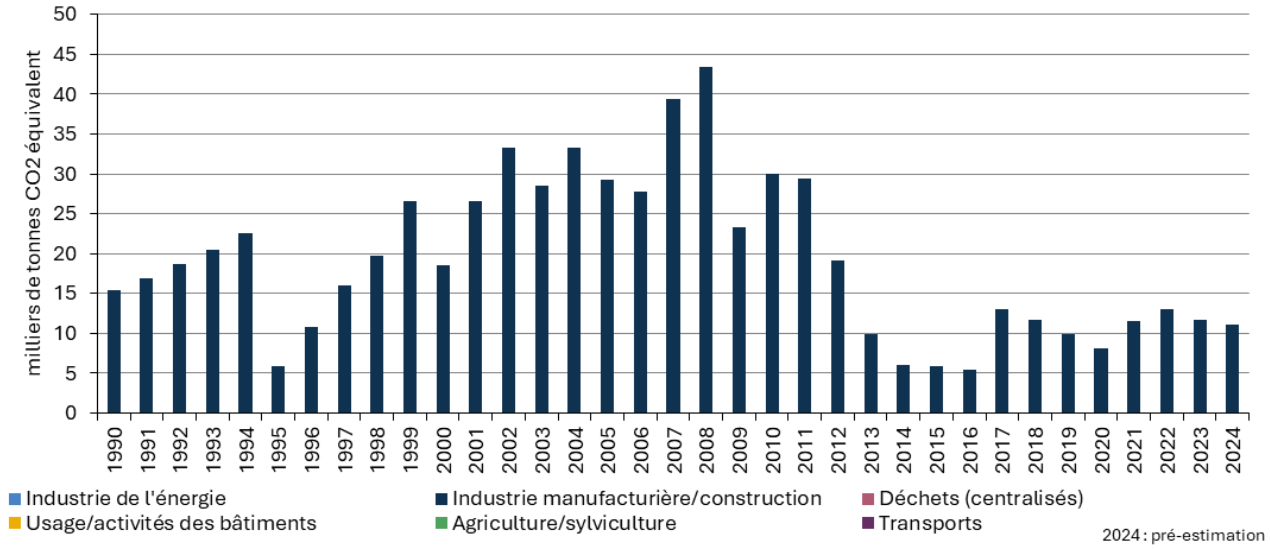
En France, le NF_3 est intégralement utilisé dans la fabrication de semi-conducteurs. La totalité des émissions de NF_3 est donc attribuée à l'industrie manufacturière.

Sur la période 1990-2023, les émissions de NF_3 présentent des variations interannuelles relativement importantes avec des pics comme en 2008 où le maximum est atteint. Cette variation constatée est liée :

- d'une part, aux fluctuations annuelles des quantités de NF_3 achetées et utilisées par les différentes usines pour la gravure des microprocesseurs et le nettoyage des chambres CVD (*Chemical Vapour Deposition*) ;
- d'autre part, à la mise en place de techniques de réduction des émissions et à l'amélioration de leur rendement.

Jusqu'en 1994, aucune technologie de contrôle des émissions (par destruction ou captage/récupération) n'était présente dans les différentes usines, ce qui explique une augmentation progressive des émissions, proportionnellement au niveau des consommations.

A partir de 1995, des technologies de réduction ont été mises en place progressivement sur certains sites, permettant une diminution des émissions cette même année. Parallèlement, les consommations de NF_3 n'ont cessé d'augmenter jusqu'en 2008, année du pic d'émissions de NF_3 en France.



Evolution des émissions de NF_3 en France

Les variations des émissions observées d'une année à l'autre proviennent des quantités de NF_3 consommées et tiennent compte de l'efficacité des techniques de réduction mises en place au sein des sites de production. Ainsi, un site industriel présentant une efficacité de traitement élevée aura pour effet de diminuer les émissions de NF_3. Les variations des émissions sont liées aux variations de consommation de NF_3 au sein des différents sites de production en France (arrêt et création d'activité) et des procédés de traitement pouvant varier d'un site à l'autre.

Évolution récente

Depuis 2013, du fait de la généralisation de l'usage des techniques de réduction, les émissions de NF_3 ont un niveau inférieur à celui des années 1990, alors que l'industrie des semi-conducteurs a des consommations beaucoup plus importantes. Les variations annuelles dépendent essentiellement de l'évolution des consommations de NF3, les facteurs d'émissions sont très bas (<1%).

A noter que les gaz fluorés utilisés dans l'industrie de la fabrication de semi-conducteurs ne sont pas à concernés par la restriction de mise sur le marché de gaz fluorés exigée par le règlement (EU) n° 517/2014 ni par sa révision (EU) 2024/573 et qu'il n'y a, par conséquent, pas de raison apparente que les émissions diminuent dans les prochaines années, à moins qu'une alternative adaptée aux nécessités de la production des semi-conducteurs ne soit mise en place.

Polluants atmosphériques

Politiques air

Vue d'ensemble de l'actualité récente

Au niveau international, en 2021, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a mis à jour les valeurs-guides pour la qualité de l'air extérieur, et ce alors même que les valeurs-guides édictées en 2005 n'étaient pas encore respectées. La Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) a finalisé son programme d'examen du Protocole de Göteborg amendé et la révision du Protocole a été actée fin 2023 (voir plus bas).

Au niveau de l'UE, la Commission européenne a débuté les travaux pour un renforcement de sa politique air, sur la base de son plan d'actions « zéro pollution » (adopté dans le cadre du *Green deal*), en septembre 2021, comportant une évaluation des directives qualité de l'air existantes et une consultation sur leur révision. La directive révisée sur la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, directive (UE) 2024/2881 a été adoptée et est entrée en vigueur le 10 décembre 2024. Elle aligne plus étroitement les normes de qualité de l'air de l'Union européenne sur les recommandations scientifiques de l'OMS. En parallèle, la nouvelle directive IED 2010/75/UE, révisant le texte initial de 2010, est entrée en vigueur le 4 août 2024. Cette directive vise à minimiser l'impact de la pollution sur la santé des personnes et sur l'environnement en réduisant les émissions nocives de l'industrie et de l'élevage intensif dans l'ensemble de l'UE.

Au niveau national, l'arrêté du 8 décembre 2022 avait mis à jour le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) pour la période 2022-2025 mais les objectifs à atteindre et fixés dans le décret de 2017 ne sont pas modifiés. Le nouvel arrêté définit 49 mesures de réduction des émissions des cinq polluants visés (SO_2, NO_x, NH_3, COVNM et $PM_{2,5}$) dans tous les secteurs. Un nouveau PREPA sera adopté sur 2026-2029.

La situation reste toujours marquée par un contraste entre, d'un côté, des émissions de polluants en baisse (avec des objectifs de réduction atteints, et une amélioration globale de la qualité de l'air) ; et de l'autre, des pics importants de concentration d'ozone et des dépassements des seuils réglementaires de qualité de l'air, notamment pour le NO_2. En 2023 et 2024, des annonces et un rapport spécial ont été publiées sur les Zones à faibles émissions mais celles-ci ont été remises en cause par un vote à l'Assemblée nationale le 29 mai 2025, une mesure qui pourrait toutefois faire l'objet d'une censure du Conseil constitutionnel.

Action à l'international

CLRTAP | Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance

Sous l'égide de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU), la Convention sur la coopération internationale pour la réduction de la pollution atmosphérique et la mise en place d'un cadre institutionnel réunissant la recherche et la politique ont contribué à la réduction des effets nocifs de la pollution de l'air sur la santé humaine et l'environnement. Ce sont en effet les impacts significatifs des polluants, notamment du SO_2 sur les forêts et les lacs dans de nombreux pays de l'hémisphère Nord dans les années 60 et 70 ("pluies acides") qui ont incité les 32 États de la région pan-européenne à établir cette coopération. Depuis de nombreux autres pays ont rejoint la Convention.

Dans le cadre de la CLRTAP, plusieurs Protocoles ont été adoptés en vue de réduire les émissions de certains polluants dans l'air. Ces Protocoles assignent à chaque Partie signataire, soit un engagement de réduction des émissions en pourcentage par rapport à une année de référence, soit des plafonds d'émissions à ne pas dépasser mais aussi des valeurs limites d'émissions dans certains secteurs d'activités. Au fil des années, le nombre de polluants visés par la CLRTAP et ses Protocoles s'est progressivement élargi pour couvrir le carbone suie, les polluants organiques persistants, les métaux lourds et les particules fines.

Protocoles

Premier Protocole soufre

Le **premier Protocole soufre,** signé à Helsinki le 8 juillet 1985, est entré en vigueur le 2 septembre 1987. La France avait pour objectif de réduire ses émissions de 30% entre 1980 et 1993. La France a décidé, en plus, de s'engager à réduire ses émissions de 60% à l'instar de douze Etats qui se sont engagés à réduire les leurs d'au moins 50%.

Protocole relatif aux NOx

Le **Protocole relatif aux NO_x**, signé à Sofia le 1er novembre 1988, est entré en vigueur le 14 février 1991. La France s'était vu assigner l'objectif de stabiliser ses émissions entre 1987 et 1994. La France avait décidé de s'engager, en outre, dans une réduction de 30% des émissions entre 1980 et 1998.

Protocole relatif aux COV

Le **Protocole relatif aux COV** signé à Genève le 18 novembre 1991, est entré en vigueur le 29 septembre 1997. La France avait accepté l'objectif de réduire ses émissions de 30% entre 1988 et 1999. Les sources biotiques sont exclues de cet engagement.

Second Protocole soufre

Le **second Protocole soufre,** signé à Oslo le 14 juin 1994, est entré en vigueur le 5 août 1998. Le nouvel objectif fixé à la France était une réduction supplémentaire progressive de ses émissions (868 kt en 2000, 770 kt en 2005 et 737 kt en 2010).

Protocoles relatifs aux POP et aux métaux lourds

Les **Protocoles relatifs aux Polluants organiques persistants et aux métaux lourds** signés à Aarhus le 24 juin 1998 sont **entrés en vigueur** le 23 octobre 2003 pour les POPs et le 29 décembre 2003 pour les métaux lourds. Ces deux protocoles ont été amendés, en 2012 pour le protocole métaux lourds et en 2009 pour le protocole POP. Parmi les dispositions prises, les Parties signataires, dont la France, doivent limiter leurs émissions de plomb, cadmium et mercure et de HAP (quatre composés : BaP, BbF, BkF et IndPy), dioxines/furannes et HCB à un niveau inférieur à celui de 1990.

Le protocole métaux lourds a été amendé le 13 décembre 2012, le nombre de ratifications minimal ayant été atteint. De nouvelles valeurs limites d'émission (VLE) ont été mises en place pour les métaux lourds et des VLE pour les particules ont été introduites. Ces VLE particules sont cohérentes avec celles du Protocole de Göteborg amendé (voir ci-après). Les amendements 2012 du Protocole sont entrés en vigueur le 8 février 2022.

Pour les POP, les amendements 2009 du Protocole sont entrés en vigueur le 20 janvier 2022. La France a ratifié ces deux protocoles amendés.

Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique

Le premier **Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique dit "multi-polluants / multi-effets",** signé à Göteborg le 1er décembre 1999 par 31 Parties dont la France, **est entré en vigueur le 17 mai 2005**. Il portait sur trois polluants déjà concernés par les Protocoles cités précédemment (SO_2, NO_x et COVNM) plus le NH_3. La France devait respecter des plafonds d'émissions définis en rejets massiques absolus en 2010. Ces plafonds étaient de 400 kt pour le SO_2, 860 kt pour les NO_x, 1 100 kt pour les COVNM et 780 kt pour le NH_3. Ces plafonds étaient très inférieurs aux plafonds fixés dans les Protocoles précédents. L'atteinte ou non des plafonds est précisée dans le tableau présenté dans la suite de ce rapport.

Le Protocole de Göteborg a été amendé le 4 mai 2012. En dépit des réductions des émissions accomplies, les impacts des polluants sur la santé et les écosystèmes sont toujours présents et il fallait donc le renforcer.

Des nouveaux engagements de réduction à l'horizon 2020 par rapport à l'année de référence 2005 ont été fixés pour les quatre polluants déjà visés par le Protocole (SO_2, NO_x, COVNM et NH_3) mais aussi pour les particules primaires fines ($PM_{2,5}$). Ainsi, le Protocole de Göteborg révisé en 2012 est le premier traité multilatéral contraignant à fixer des engagements de réduction des émissions pour les $PM_{2,5}$.

Pour la France, les engagements de réduction d'émissions pour 2020 sont de -55% pour le SO_2, de -50% pour les NO_x, de -43% pour les COVNM, de -4% pour le NH_3 et de -27% pour les $PM_{2,5}$ par rapport à ses émissions de 2005. Le Protocole amendé met en place des nouvelles VLE pour certaines activités concernant les cinq polluants.

Le carbone suie, en tant que composante des particules, a aussi été introduit dans le Protocole qui devient donc le premier Protocole à prendre en compte ce polluant et forceur climatique à courte durée de vie, notamment par un système de rapportage des émissions de carbone suie à l'échelle de la zone de la CEE-NU. Aucune valeur limite

d'émission (VLE), ni aucun plafond ne sont toutefois mis en place pour l'instant pour le carbone suie mais des recommandations sont données aux Parties, notamment de focaliser les réductions des émissions de $PM_{2,5}$ sur les sources riches en carbone suie.

Avec la 19e ratification par la Suisse le 24 juillet 2019, le Protocole de Göteborg amendé est entré en vigueur le 7 octobre 2019. En mars 2025, le Protocole avait été ratifié par 32 parties, dont 31 États et l'Union européenne. La France l'avait ratifié le 6 décembre 2021.

Avant de prendre une décision quant à la révision du Protocole de Göteborg amendé, la CEE-NU a lancé sa revue (réexamen)qui s'est poursuivie jusqu'à la fin de l'année 2023. Parmi ses conclusions, le groupe de revue du Protocole amendé a souligné que :

- les réductions d'émissions de la zone CEE-NU ont été plus importantes que l'objectif initial global du Protocole de Göteborg modifié grâce à la mise en œuvre des engagements de réduction des émissions pour 2020 ;
- les inventaires d'émission se sont généralement améliorés mais il y a encore des différences dans la qualité et l'exhaustivité de ces inventaires ; des améliorations sont encore nécessaires ;
- en dépit des réductions des émissions réalisées, une tendance à la baisse des concentrations et des dépôts de polluants assez similaire, des effets néfastes sur la santé humaine, les écosystèmes (terrestres et aquatiques) et les matériaux continuent de se produire ;
- la législation actuelle ne suffira pas à atteindre les objectifs à long terme du Protocole de Göteborg modifié avec toujours, selon la modélisation, des dépassements des charges et des niveaux critiques (eutrophisation, exposition à l'O_3, aux $PM_{2,5}$ au-delà des recommandations de l'OMS sur la qualité de l'air) ;
- même avec la mise en œuvre complète de toutes les mesures techniques disponibles et les changements supplémentaires qui ont été envisagés dans le secteur de l'énergie (politique climatique intensifiée) et le secteur agricole (politique alimentaire saine), ces dépassements se produiront toujours ;
- pour accroître l'efficacité du Protocole de Göteborg modifié, un plus grand nombre de Parties devront le ratifier et mettre en œuvre des engagements de réduction de leurs émissions ; les obstacles à la mise en œuvre devront être éliminés ;
- pour atteindre les objectifs à long terme, des mesures non techniques et structurelles, des synergies avec les politiques climatiques et énergétiques, ainsi que des efforts supplémentaires en dehors de la zone CEE-NU (par exemple dans le domaine des transports maritimes internationaux) seront également nécessaires ;
- des mesures supplémentaires sont nécessaires dans les secteurs de l'agriculture, de l'énergie, du transport routier, du transport maritime (international), de l'utilisation de solvants, du bois domestique, de la combustion de résidus agricoles, du torchage de gaz et des décharges ;
- une réduction globale des émissions de méthane (en plus de la réduction des émissions de CH_4, de NOx et COV dans la région de la UNECE) est nécessaire pour réduire l'ozone troposphérique dans la région de la UNECE ;
- des réductions supplémentaires des émissions de NH_3, au-delà des prescriptions actuelles, sont nécessaires pour permettre la poursuite de la régénération des écosystèmes ;
- la coopération avec d'autres instances internationales doit être renforcée, en particulier pour le CH_4 ;
- il faudrait envisager de prendre des mesures supplémentaires concernant les NOx, le SO_2, les $PM_{2,5}$ (carbone suie), les COV et en particulier le NH_3.

Lors de la réunion annuelle de l'organe exécutif de la Convention en 2023 (43e session, 11-14 décembre 2023), la CEE-NU a pris la décision de lancer le processus de révision du Protocole de Göteborg, tel qu'amendé en 2012.

Le processus de révision inclut, en outre, l'examen des éléments suivants :

- de nouveaux engagements de réduction des émissions pour les polluants actuellement couverts par le texte ;

- les révisions potentielles des annexes techniques, y compris en ce qui concerne leur champ d'application et leur niveau d'ambition ;

- comment réduire davantage les émissions de carbone suie ;

- la question de savoir s'il faut s'attaquer aux émissions de méthane et comment le faire ;

- comment parvenir à des réductions supplémentaires des émissions d'ammoniac, qui sont des précurseurs de particules ;

- de nouvelles flexibilités et d'autres approches visant à faciliter la ratification et la mise en œuvre ultérieure par les États non-parties au Protocole de Göteborg, tel qu'amendé en 2012 ;

- des objectifs globaux et collectifs fondés sur les risques pour réduire les effets nocifs sur la santé et les écosystèmes, y compris la perte de biodiversité dans la région de la CEE ;

- comment parvenir à des approches intégrées entre les politiques relatives au climat, à l'énergie et à l'air.

Il a été décidé de prendre des mesures pour améliorer le renforcement des capacités des pays non parties, la sensibilisation et la coopération au sein de la région de la CEE et au-delà, en tenant compte de l'utilisation efficace des ressources.

En mai 2024, le Groupe de travail sur la révision a discuté d'un plan afin de traiter les huit principales questions de la révision, en gardant à l'esprit les non-Parties et en vue d'élargir le nombre de ratifications. Les parties à la convention se réuniront dans le cadre de la 45e réunion de l'organe exécutif (8-11 décembre 2025) pour franchir les prochaines étapes du processus**. La finalisation de la révision du Protocole de Göteborg, tel qu'amendé en 2012, devrait être réalisée en décembre 2027.**

En ce qui concerne la France, les engagements arrivant à échéance de l'ensemble des Protocoles précités ont été atteints pour la plupart. Pour les NOx cependant, il y a lieu d'observer que le niveau de réduction exigé pour 2010 a été atteint avec un décalage de quelques années (NOx Sofia et NOx Göteborg 1999).

Il est à noter que la France respecte ses engagements pour 2020 (Protocole de Göteborg amendé et directive européenne 2284/2016 réduction des émissions) – *voir plus loin*.

Trafic maritime : les émissions de soufre limitées en Méditerranée

Décidée en juin 2022 par le 78e Comité de protection du milieu marin de l'Organisation maritime internationale (OMI), la création d'une zone de contrôle des émissions d'oxydes de soufre et de particules (SECA) pour la Méditerranée est entrée en vigueur le 1er mai 2025. Couvrant l'ensemble de ce bassin, de Gibraltar au canal de Suez, elle limite à 0,1 % de sa masse totale la teneur en soufre du combustible utilisé par les navires, ce qui permet de diminuer considérablement leurs émissions de particules fines. Ces bateaux peuvent aussi utiliser un système d'abattement, des laveurs de fumée ou « *scrubbers* », permettant d'aboutir au même résultat.

Il y a dix ans, en 2015, les deux premières SECA avaient été ouvertes sur les zones Manche-Mer-du Nord et mer Baltique avec pour résultat une réduction de 70 % des rejets d'oxydes de soufre en mer au sein de l'UE. Les pays de l'Atlantique du Nord-Est envisagent de faire de même d'ici à 2027. Dans le monde, en dehors des zones SECA, depuis le 1er janvier 2020, la teneur en soufre des combustibles ne doit pas dépasser 0,5 %. Il existe aussi plusieurs zones NECA pour les NOx.

Convention de Minamata sur le mercure

La Convention de Minamata sur le mercure est une Convention internationale développée dans le cadre du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Elle a été formellement adoptée le 10 octobre 2013 et est entrée en vigueur en 2017. Elle vise, entre autres, à réduire les émissions atmosphériques de mercure provenant des cinq catégories de sources ponctuelles : installations de production d'électricité au charbon, chaudières industrielles alimentées au charbon, production de métaux non ferreux, installations d'incinération des déchets, cimenteries. Après la ratification par l'UE en tant qu'organisation régionale d'intégration économique et sept de ses 28 États membres (Bulgarie, Danemark, Hongrie, Malte, Pays-Bas, Roumanie et Suède) mi-mai 2017, la Convention est entrée en vigueur le 16 août 2017. Au 14 mai 2025, 152 Parties avaient ratifié la Convention (dont la France le 15 juin 2017).

Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants

La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (ou « Convention POP ») est un accord international visant à interdire certains produits polluants. Adoptée le 22 mai 2001 dans le

cadre du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) par 92 pays, elle est entrée en vigueur le 17 mai 2004. Au 14 mai 2025, 186 Parties l'avaient ratifiée (dont la France, le 17 février 2002).

Le texte vise à protéger la santé humaine et l'environnement en limitant ou en éliminant l'usage et les émissions de substances chimiques désignées comme POP. La convention vise à limiter et, à terme, à éliminer leurs production, utilisation, commerce, rejet et stockage intentionnels ou non-intentionnels. Ainsi, elle traite une trentaine de substances polluantes hautement toxiques, divisées en trois catégories à savoir les pesticides, les produits chimiques industriels et les sous-produits, produits involontairement lors des procédés industriels et incinération des déchets.

Initialement, 12 POP étaient visés, répartis en trois annexes (A [élimination de la production et consommation, dont HCB et PCB], B [restriction de la production et de l'utilisation] et C [réduction des émissions/rejets non-intentionnels, dont PCDD-PCDF, HCB et PCB]).

Ainsi, en 2009, les parties au protocole sur les POP ont adopté les décisions 2009/1 et 2009/2, modifiant le protocole pour y inclure sept substances supplémentaires : l'hexachlorobutadiène, l'octabromodiphényléther, le pentachlorobenzène, le pentabromodiphényléther, les sulfonates de perfluorooctane, les naphtalènes polychlorés et les paraffines chlorées à chaîne courte. Ces amendements ont également révisé les obligations relatives à des substances telles que le DDT, l'heptachlore, l'hexachlorobenzène et les PCB, ainsi que les valeurs limites d'émission (VLE) pour l'incinération des déchets.

Ainsi la Convention de Stockholm prend en compte un nombre de POP beaucoup plus élevé que le Protocole d'Aarhus (Danemark) (CEE-NU) adopté le 24 juin 1998 qui visait 16 substances identifiées sur la base de critères de risque convenus, dont 11 pesticides, deux produits chimiques industriels et trois sous-produits ou contaminants.

À noter également qu'au titre de la Convention POP, les Parties sont également tenues d'élaborer et d'adopter des plans de mise en œuvre (et de les mettre à jour le cas échéant). Ces plans servent à définir la façon dont leurs engagements seront respectés et dont la coopération entre partenaires sera gérée, y compris avec les organisations mondiales, nationales, régionales et infrarégionales.

Au printemps 2025, les États membres de la Conférence des Parties à la Convention de Stockholm (SC COP-12) qui s'est tenue du 28 avril au 9 mai, ont ajouté le pesticide toxique chlorpyrifos et le groupe des acides perfluorocarboxyliques à longue chaîne (APFC-LC) appartenant à la famille des PFAS (substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées) à la liste des polluants organiques persistants. À partir du 1er janvier 2026, leur production et leur fabrication devraient théoriquement être interdites à l'échelle mondiale. Cependant, cette décision a été assortie de plusieurs dérogations, pour cinq ans, notamment pour la fabrication de mousse anti-incendie. Les APFC-LC sont présents notamment dans les mousses anti-incendie, ainsi que les textiles, les cosmétiques et les emballages alimentaires.

Le réseau Ipen (réseau international pour l'élimination des polluants organiques persistants), qui regroupe plus de 600 ONG dans plus de 120 pays, a alerté sur les « *risques persistants et évitables* » qui pourraient découler de leur interdiction, rappelant que des solutions alternatives à ces substances toxiques « *sont disponibles et devraient être adoptées* ». La vente de chlorpyrifos a cessé dans l'Union européenne fin janvier 2020.

Protocole PRTR

Le Protocole sur les registres des rejets et transferts de polluants (PRTR) a été adopté le 21 mai 2003 à Kiev (Ukraine) en application de la Convention d'Århus (1998) sur l'accès à l'information, la participation du public et l'accès à la justice en matière d'environnement (sous l'égide de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies, CEE-NU). Le Protocole est entré en vigueur le 8 octobre 2009. Au 15 mai 2025, 38 Parties l'avaient ratifié (dont la France le 10 juillet 2009).

Ce Protocole vise à améliorer l'accès du public à l'information via la mise en place de registres nationaux cohérents des rejets et transferts de polluants. Les registres sont des inventaires de polluants des sites industriels.

Le Protocole oblige les Parties l'ayant ratifié à établir et à tenir à jour un tel registre accessible au public. Les exploitants des installations émettrices relevant des catégories d'activités visées à l'annexe I du Protocole [essentiellement les grandes installations industrielles] sont tenus de déclarer chaque année aux autorités nationales des informations sur leurs rejets qui sont ensuite intégrées au registre national. Sont visés 86 polluants, énumérés à l'annexe II, assortis de seuils de rejet dans l'air, l'eau et les sols. Parmi ces 86 polluants figurent les substances émises dans l'air :

gaz à effet de serre, polluants acidifiants, eutrophisants et responsables de la formation d'ozone troposphérique, substances qui appauvrissent la couche d'ozone, métaux lourds et polluants organiques persistants (POP), tels que les dioxines et furanes.

En application de ce protocole, le registre européen des rejets et transferts de polluants (dit E-PRTR) a été formellement établi par le règlement (CE) n°166/2006 (*voir section Action européenne ci-après*).

Les nouvelles valeurs-guides de l'OMS

Le 22 septembre 2021, l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) a publié ses nouvelles valeurs-guides (appelées aussi lignes directrices) relatives à la qualité de l'air (*air quality guidelines*), ce qui constitue leur troisième mise à jour.

Les lignes directrices relatives à la qualité de l'air ont été élaborées par l'OMS pour soutenir les actions menées en vue d'atteindre une qualité de l'air propre à protéger la santé publique. Elles visent à fournir des cibles appropriées à toute une série d'actions à mener pour la prévention de la pollution atmosphérique dans les différentes parties du monde. Publiées pour la première fois en 1987, mises à jour pour la première fois en 1997, puis une deuxième fois en 2005, ces lignes directrices sont fondées sur l'évaluation par des experts des données scientifiques de la désormais grande quantité de données scientifiques disponibles concernant la pollution de l'air et ses conséquences sur la santé. Ces lignes directrices sont des valeurs de concentration dans l'air ambiant extérieur recommandées (et donc non contraignantes) pour certains polluants de l'air, applicables dans toutes les régions du monde.

Les nouvelles valeurs de 2021 ont été définies à la suite d'une revue exhaustive de la littérature scientifique des 15 dernières années.

Par rapport aux lignes directrices précédentes, les nouvelles lignes directrices :

- sont dans leur quasi-totalité **plus exigeantes** que celles publiées en 2005,
- reposent sur de **nouvelles méthodes** de synthèse des preuves scientifiques et d'élaboration des valeurs,
- mettent **davantage l'accent sur les données factuelles** relatives aux effets des polluants sur la santé humaine,
- présentent **une plus forte certitude** quant aux effets sanitaires qui se font sentir à des niveaux plus faibles de concentration des polluants couverts par rapport aux connaissances antérieures,
- proposent des **valeurs de référence supplémentaires**, comme pour l'O_3 (pendant les pics saisonniers), le NO_2 et le CO (moyenne sur 24h). C'est la première fois que le CO est visé par les lignes directrices de l'OMS,
- fournissent de **nouvelles informations sur les bonnes pratiques de gestion de certains types de PM** (le carbone suie/carbone élémentaire, les particules ultrafines et les particules provenant de tempêtes de sable et de poussière).

Cette troisième révision donne de nouvelles valeurs indicatives concernent **six polluants de l'air : les particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$), l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2), le dioxyde de soufre (SO_2) et le monoxyde de carbone (CO)** :

Les nouvelles lignes directrices qualité de l'air de l'OMS
(et à titre de comparaison, celles de 2005)

Polluant	Période visée	Lignes directrices 2005	Lignes directrices 2021
$PM_{2,5}$ (en µg/m³)	Moyenne annuelle	10	5
	Moyenne sur 24h	25	15
PM_{10} (en µg/m³)	Moyenne annuelle	20	15
	Moyenne sur 24h	50	45
O_3	Pic saisonnier[a]	-	60
	Moyenne sur 8h	100	100
NO_2	Moyenne annuelle	40	10
	Moyenne sur 24h	-	25
SO_2	Moyenne sur 24h	20	40
CO	Moyenne sur 24h	-	4

Légende : moyenne du maximum journalier des concentrations moyennes de O_3 sur 8h au cours des six mois consécutifs où la concentration moyenne d'O_3 a été la plus élevée.

On peut notamment retenir que la valeur guide pour les $PM_{2,5}$ en moyenne annuelle a été sévérisée, passant de 10 µg/m³ en 2005 à 5 µg/m³ en 2021 ; de même pour celle pour le NO_2 qui, en moyenne annuelle, passe de 40 µg/m³ en 2005 à seulement 10 µg/m³ en 2021.

▶ Pour une vue d'ensemble de la situation de la France vis-à-vis des objectifs de réduction d'émissions issus de ces cadres internationaux, voir un tableau récapitulatif en Annexe et les sections relatives à chaque substance visée.

Action européenne

Directive NEC 2

La directive (UE) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques (dite directive NEC 2 pour *« National Emission Reduction Commitments Directive »*) a été publiée au Journal officiel de l'Union européenne (JOUE) L 344 du 17 décembre 2016.

Ce texte est venu réviser la directive 2001/81/CE relative aux plafonds d'émission nationaux, dite directive NEC 1, adoptée le 23 octobre 2001 qui visait à limiter les émissions des polluants acidifiants, eutrophisants et des précurseurs de l'ozone. Elle fixait des plafonds d'émissions nationaux pour quatre substances, lesquelles sont les mêmes que celles visées par le Protocole de Göteborg avant son amendement en 2012 (cf. section 1.2.1 de ce même chapitre), à savoir : SO_2, NO_x, COVNM et NH_3. Ces plafonds étaient fixés pour 2010.

La nouvelle directive, qui a abrogé la directive NEC 1 le 1er juillet 2018, étend la période de la directive NEC de 2020 à 2030 et au-delà. De plus, elle aligne le droit de l'UE sur les engagements découlant de la révision du Protocole de Göteborg adoptée le 4 mai 2012.

Les États membres doivent limiter leurs émissions anthropiques annuelles de cinq polluants : SO_2, NOx, NH_3, COVNM et $PM_{2,5}$ (polluant ajouté par rapport à la directive NEC I) conformément aux engagements nationaux de réduction fixés à l'annexe II de la directive. Ces engagements nationaux sont des objectifs contraignants assignés aux États membres. Ces engagements portent sur deux échéances : 2020 et 2030. Cela signifie que les engagements 2020 doivent être respectés sur l'ensemble de la période 2020-2029 (au moins).

Contrairement à la directive NEC 1, ces engagements ne sont pas des plafonds (en kt), mais des *objectifs relatifs* de réduction (en % par rapport à l'année de référence 2005). Ces objectifs excluent :

- les émissions des aéronefs au-delà du cycle d'atterrissage/décollage [>1 000 m],
- les émissions provenant du trafic maritime national au départ ou à destination des départements français d'outre-mer,
- les émissions provenant du trafic maritime international,
- les émissions de NOx et de COVNM provenant de la gestion des effluents d'élevage et des sols agricoles.

Engagements nationaux de réduction fixés pour la France
(année de référence : **2005**)

	2020	2030
SO_2	-55 %	-77 %
NOx	-50 %	-69 %
COVNM	-43 %	-52%
NH_3	-4 %	-13 %
$PM_{2,5}$	-27 %	-57 %

Ces engagements sont repris dans le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA – *voir plus loin*).

La directive oblige les États membres à élaborer, à adopter et à mettre en œuvre des programmes nationaux de lutte contre la pollution de l'air (*National Air Pollution Control Programmes* ou NAPCP). Les États membres devaient soumettre leur premier programme national avant le 1er avril 2019, à mettre à jour au minimum tous les quatre ans par la suite. Les 27 États membres ont tous soumis leur NAPCP.

Des informations plus précises sur le NAPCP français (appelé PREPA) sont disponibles dans la section « Au niveau français » plus bas.

Les Etats membres doivent élaborer et mettre à jour chaque année des inventaires nationaux d'émissions pour les polluants suivants :

Polluants	Série chronologique
• SO_2, NOx, COVNM, NH_3, CO • métaux lourds (Cd, Hg, Pb) • POP (HAP totaux, benzo (a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, indéno (1,2,3-cd)pyrène, dioxines/ furannes, PCB, HCB)	Déclaration annuelle de 1990 jusqu'à l'année de déclaration moins 2 (n-2)
• PM_{10}, $PM_{2,5}$ et si disponible carbone suie	Déclaration annuelle de 2000 jusqu'à l'année de déclaration moins 2 (n-2)

En outre, les États membres doivent élaborer et mettre à jour, conformément aux exigences établies :

- tous les quatre ans des inventaires nationaux d'émissions spatialisés et des inventaires des grandes sources ponctuelles,
- tous les deux ans, des projections nationales des émissions de polluants.

Afin de garantir la continuité dans l'amélioration de la qualité de l'air, les plafonds d'émission nationaux établis par la directive 2001/81/CE ont continué de s'appliquer jusqu'au 31 décembre 2019. En 2020, ce sont les engagements de réduction de la directive NEC-2 (2016/2284), sur la réduction des émissions de polluants, qui ont pris le relais.

Comme prévu par la directive, la Commission a mis en place un Forum européen "Air propre" (*Clean Air Forum*) dans le but de fournir des informations permettant de définir des orientations et de faciliter la mise en œuvre coordonnée de la législation et des politiques de l'UE visant à améliorer la qualité de l'air. Ce Forum réunit toutes les parties prenantes concernées, notamment les autorités compétentes des États membres à tous les niveaux administratifs pertinents, la Commission, l'industrie, la société civile et la communauté scientifique.

Les membres du Forum échangent des expériences et des bonnes pratiques (y compris sur la réduction des émissions issues du chauffage domestique et du transport routier) pour améliorer les programmes nationaux de lutte contre la pollution atmosphérique et leur mise en œuvre.

La première réunion du Forum Air pur s'est tenue à Paris les 16-17 novembre 2017 et a rassemblé plus de 300 participants. Les discussions ont porté sur la qualité de l'air dans les villes, agriculture et qualité de l'air, et les opportunités économiques liées à l'amélioration de la qualité de l'air.

La 2e réunion du Forum Air pur a eu lieu les 28-29 novembre 2019 à Bratislava (Slovaquie) et a été axée sur quatre thèmes : qualité de l'air et santé ; qualité de l'air et énergie ; qualité de l'air et agriculture ; et mécanismes de soutien pour améliorer la qualité de l'air.

La 3e réunion du Forum Air pur qui s'est tenue les 18-19 novembre 2021 à Madrid, a concerné six thèmes :

- zéro pollution : qualité de l'air et santé,
- participation des villes et citoyens,
- articuler les questions de qualité de l'air, de climat et la reprise économique,
- pollution de l'air, changement climatique et biodiversité,
- accès à la justice et le droit à respirer l'air propre,
- révision des règles de l'UE sur la qualité de l'air.

La 4e réunion du Forum Air Propre a eu lieu les 23-24 novembre 2023 à Rotterdam et a porté sur sept thèmes :

- les liens entre l'air pur, le climat et les inégalités sociales,
- l'air propre et l'aménagement du territoire,
- le transport maritime et la pollution de l'air,
- le transport multimodal et l'aménagement du territoire en faveur de l'air propre,
- les compétences et les emplois au service de l'air propre,
- la révision des directives européennes sur la qualité de l'air ambiant,
- la diffusion des connaissances en faveur de l'amélioration de la qualité de l'air.

La 5e édition du Forum européen de l'air pur aura lieu à Bonn, en Allemagne, le 1er et le 2 décembre 2025 avec comme axes directeurs l'évaluation de la directive NEC-2 qui devrait être achevée d'ici la fin de l'année 2025, et la transposition en cours de la directive révisée sur la qualité de l'air ambiant.

Le 26 juin 2020, la Commission européenne a publié un rapport présentant l'état d'avancement de la mise en œuvre de la directive NEC-2. Il s'agissait du premier rapport de mise en œuvre de cette directive, réalisé en application de son article 11. La Commission a également publié l'analyse de chacun des NAPCP et des projections d'émissions de chaque État membre. Le rapport de mise en œuvre–a présenté les progrès réalisés jusqu'au début 2020 pour contribuer au respect des engagements nationaux de réduction des émissions. Les données relatives aux projections des émissions et l'analyse des NAPCP montraient clairement **qu'il était nécessaire d'intensifier les efforts, même à court terme.**

La Commission a également insisté sur l'importance pour les États membres de continuer à étudier des mesures supplémentaires plus rigoureuses pour garantir de nouvelles réductions réellement efficaces de leurs émissions de polluants atmosphériques. Le rapport pointait le problème de l'ammoniac (NH_3). Les émissions de NH_3 continuent de faire figure d'exception dans le contexte des améliorations générales constatées à ce jour. La Commission a souligné que le secteur agricole devrait s'engager davantage pour parvenir aux réductions requises.

État des lieux des progrès réalisés par les États membres pour respecter leurs engagements de réduction des émissions de polluants sur la période 2020-2029

L'Agence européenne pour l'Environnement (AEE) a publié, le 25 juin 2024, la troisième évaluation des progrès des États membres pour respecter leurs engagements de réduction des émissions des cinq polluants atmosphériques sur la période 2020-2029 et ceux, plus stricts, pour la période à partir de 2030, fixés par la directive dite NEC-2. Concrètement, la note

d'analyse de l'AEE évalue les réductions d'émissions que doivent réaliser les États membres pour respecter leurs engagements pour 2020-2029 et estime l'effort de réduction encore nécessaire, pour ceux qui ne les respectent pas, en pourcentage de leurs niveaux d'émissions de 2020. Enfin, elle évalue les progrès réalisés en vue de respecter les engagements nationaux de réduction des émissions plus stricts fixés pour 2030 et au-delà (engagements dits post-2030).

Selon ce troisième bilan annuel, la plupart des États membres ont respecté leurs engagements nationaux en matière de réduction des émissions pour la période 2020-2029, selon les données de 2022. Toutefois, 11 États membres n'ont pas respecté leurs engagements de réduction des émissions en 2022 pour au moins l'un des cinq principaux polluants atmosphériques.

État d'avancement, en 2022, de la réalisation des engagements de réduction des émissions pour 2020-2029 par polluant

- ***NH_3*** : 18 États membres (dont la France) ont respecté leurs engagements en 2022, tandis que 9 États membres doivent encore réduire leurs émissions,
- ***COVNM*** : 26 États membres (dont la France) ont respecté leurs engagements en 2022,
- ***NOx*** : 25 États membres (dont la France) ont respecté leurs engagements en 2022,
- ***$PM_{2,5}$*** : 25 États membres (dont la France) ont respecté leurs engagements en 2022,
- ***SO_2*** : 26 États membres (dont la France) ont respecté leurs engagements en 2022.

L'AEE souligne la réduction des émissions d'ammoniac reste le plus grand défi : neuf États membres doivent réduire leurs niveaux d'émission de 2022 pour respecter leurs engagements de réduction pour la période 2020-2029. Le secteur agricole est responsable de 93 % des émissions totales d'ammoniac. Dans de nombreux États membres, les émissions d'ammoniac n'ont que légèrement diminué depuis 2005 et ont même augmenté dans certains cas.

Les efforts à consentir pour respecter les engagements de réduction nationaux pour la période 2020-2029

L'AEE note que, malgré une tendance globale à la baisse des émissions, davantage d'efforts doivent être consentis par les États membres pour respecter leurs engagements de réduction nationaux fixés pour la période 2020-2029 par la directive NEC 2.

Les efforts à consentir pour respecter les engagements de réduction nationaux pour la période post-2030

Réaliser de nouvelles réductions pour 2030 et au-delà constituera un défi de taille pour la quasi-totalité des pays de l'UE et pour la quasi-totalité des polluants atmosphériques. Le taux de réduction des émissions de certains polluants est en train de se stabiliser. Le dioxyde de soufre constitue une exception : 22 États membres respectent déjà l'engagement de réduction pour 2030.
Les émissions des principaux polluants atmosphériques ont continué à diminuer, maintenant la tendance observée depuis 2005. Et ce, malgré une augmentation du produit intérieur brut au cours de la même période.
Les polluants les plus problématiques sont le NH_3, les NOx et les $PM_{2,5}$.

Tableau de synthèse de la performance des États membres au regard de leurs engagements de réduction
Réductions nécessaires par État membre et par polluant (en %) pour respecter leurs engagements de réduction pour la période 2020-2029 et pour la période post-2030 (au titre de la directive NEC 2), par rapport à leur niveau d'émission de 2022

Le tableau ci-après montre les efforts nécessaires par État membre et par polluant, par rapport aux niveaux d'émission de 2022, pour respecter leurs engagements de réduction.

L'AEE a réparti les États membres en **cinq groupes** :

- les États membres dont les niveaux d'émission sont en dessous de leur engagement de réduction : ✓ (dans le tableau)
- les États membres qui doivent réduire leurs émissions de moins de 10 % par rapport aux niveaux de 2020 : 🟡
- les États membres qui doivent réaliser des réductions comprises entre 10 et 30 % : 🟠
- les États membres qui doivent réaliser des réductions comprises entre 30 et 50 % : 🟣
- les États membres qui doivent réduire leurs émissions de 50 % ou plus : 🔴.

Tableau de synthèse de la performance des Etats membres au regard de leurs engagements de réduction. Réductions nécessaires par Etat membre et par polluant (en %) pour respecter leurs engagements de réduction pour la période 2020-2029 et pour la période post-2030 (au titre de la directive NEC 2)

Source : AEE, 25 juin 2024

La Commission a lancé début 2024 les travaux d'examen de la directive NEC-2. L'évaluation, réalisée en suivant les lignes directrices du programme « Mieux légiférer », (publiées le 3 novembre 2021), déterminera dans quelle mesure la directive a atteint son objectif de protection de la santé humaine et de l'environnement en réduisant les émissions nationales des cinq polluants atmosphériques (SO_2, NO_x, NH_3, COVNM et $PM_{2,5}$).

Le 3 septembre 2024, la Commission européenne a lancé une consultation publique en ligne à ce sujet. Sur la base des rapports visés à l'article 11, la Commission doit procéder à un réexamen (*review*) du texte au plus tard le **31 décembre 2025** afin de maintenir les progrès accomplis pour atteindre les objectifs généraux de la directive (*article 13*), en tenant compte notamment des progrès scientifiques et techniques et de la mise en œuvre des politiques « climat-énergie » de l'UE.

Directives Qualité de l'air

Directive CAFE (Clean Air for Europe)

La directive 2008/50/CE, dite directive CAFE, concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe a été adoptée le 21 mai 2008 et porte pour sa part sur les concentrations à ne pas dépasser dans l'atmosphère (tandis que la directive NEC 2 porte, elle, sur les émissions).

Cette directive visait à rationaliser la législation européenne sur la qualité de l'air par la fusion, en une directive unique, de quatre directives et d'une décision :

- la directive cadre 96/62/CE du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant ;
- les trois directives filles (1999/30/CE du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour le SO_2, le NO_2/NOx, les PM_{10} et $PM_{2,5}$, ainsi que et le plomb dans l'air ambiant ; 2000/69/CE du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le CO dans l'air ambiant ; 2002/3/CE du 12 février 2002 relative à l'ozone troposphérique [ozone de basse altitude]) ;
- la décision 97/101/CE du 27 janvier 1997 établissant un échange d'informations et de données provenant des réseaux et des stations individuelles mesurant la pollution de l'air ambiant dans les États membres.

La directive 2008/50/CE :

- a fixé des normes de qualité de l'air ambiant pour les polluants précités (sous forme de valeurs limites de concentration, de valeurs cibles, d'objectifs de qualité, etc.) afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement,
- a défini des règles de surveillance, de gestion et d'évaluation de la qualité de l'air ambiant dans les États membres sur la base de méthodes de mesure et de critères communs,
- a établi les dispositions pour obtenir des informations (obligations de rapportage par États membres) sur la qualité de l'air ambiant afin de contribuer à réduire la pollution de l'air et de surveiller les tendances à long terme et les améliorations obtenues,
- a défini des règles pour mettre ces informations à la disposition du public et pour renforcer la coopération entre les États membres en vue de réduire la pollution atmosphérique.

Par ailleurs, la directive 2004/107/CE a fixé des valeurs cibles (mais pas de valeurs limites) pour trois métaux lourds (arsenic, cadmium, nickel) et le benzo[a]pyrène (ou B[a]P). Pour le mercure, elle ne fixe pas de valeurs cibles mais définit néanmoins une méthode de référence pour l'échantillonnage et l'analyse du mercure dans l'air ambiant (comme pour les quatre autres polluants précités).

La directive (UE) 2015/1480 du 28 août 2015 est venue modifier plusieurs annexes techniques des directives 2004/107/CE et 2008/50/CE. Elle établit les règles concernant les méthodes de référence, la validation des données et l'emplacement des points de prélèvement pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant.

Le 18 décembre 2013, la Commission européenne a présenté un nouveau Paquet politique et législatif pour renforcer la politique de l'UE en matière de qualité de l'air (dit "Paquet Air"). À cette occasion, la Commission a souligné que, sur la base des résultats du réexamen de la politique air de l'UE, il n'y avait pas lieu, à ce stade, de procéder à une révision des directives 2008/50/CE et 2004/107/CE mais que la Commission allait néanmoins procéder à des réexamens réguliers. La Commission a ainsi indiqué que la première évaluation devait être effectuée d'ici 2020 et porterait sur l'opportunité d'élaborer de nouvelles mesures relatives aux normes de qualité de l'air. En effet, un des deux principaux objectifs du Paquet Air était de focaliser les efforts pour garantir, d'ici 2020 au plus tard, le respect intégral de la législation de l'UE sur la qualité de l'air dont la conformité avec les normes actuellement en vigueur.

Évaluation de l'efficacité des directives QA

La Commission européenne a donc lancé à l'automne 2017 un exercice visant à évaluer l'efficacité des deux directives "Qualité de l'air" (2008/50/CE et 2004/107/CE). Il complétait l'analyse déjà réalisée en 2013. L'objet de cette évaluation (baptisée en anglais "*Fitness Check*") était de déterminer si ces deux directives constituent toujours le cadre législatif le plus approprié pour atteindre les objectifs de l'UE en matière d'amélioration de la qualité de l'air. Si les deux directives de base n'établissent pas d'obligation formelle d'évaluation de leur performance, les normes en matière de qualité de l'air sont en place depuis plus de 20 ans (entre 1999 et 2002) et elles n'avaient pas fait l'objet de réexamen depuis 2005 (dans le cadre de la stratégie thématique sur la pollution atmosphérique). Depuis leur mise en place, les connaissances scientifiques en matière d'impacts des 12 polluants visés sur la santé humaine et l'environnement ont nettement évolué. Sur cette même période, la faisabilité technique et l'expérience dans la mise en œuvre de ces actes législatifs se sont également améliorées.

L'évaluation s'est fondée sur les progrès réalisés dans tous les États membres sur la période 2008-2018. Concrètement, elle a porté sur le rôle des directives dans la réalisation des objectifs, les méthodes de surveillance et d'évaluation de la qualité de l'air, les normes, les dispositions relatives à l'information sur la qualité de l'air, les coûts administratifs, les chevauchements et/ou synergies, les lacunes, les incohérences, ainsi que sur la gouvernance de la qualité de l'air entre l'UE, les États membres, les niveaux régional et local.

Le 29 novembre 2019, la Commission européenne a publié les résultats de cette nouvelle évaluation. La Commission a conclu que les directives ont été en partie efficaces dans l'amélioration de la qualité de l'air et dans le respect des normes de qualité de l'air. Elle a toutefois reconnu qu'elles n'ont pas été intégralement efficaces et que des lacunes restent à combler pour respecter les normes de qualité de l'air.

La Commission a souligné que les normes de qualité de l'air pour les 12 polluants visés ont conduit à faire baisser leurs concentrations et à réduire les niveaux de dépassement de ces normes. Cependant, il reste deux lacunes contradictoires :

- d'abord, les normes européennes de qualité de l'air ne sont pas pleinement alignées sur les valeurs guides en matière de qualité de l'air de l'OMS et **les normes européennes ne comportent pas de mécanisme explicite pour les ajuster en fonction des progrès techniques et scientifiques** ;
- ensuite, en raison du manque d'efficacité des plans de qualité de l'air et du manque d'engagement des États membres, ceux-ci ont accusé, et accusent encore, d'importants retards dans la mise en œuvre de mesures efficaces visant à **réduire les émissions** des secteurs émetteurs de polluants (transports, industrie, bâtiments, agriculture,...).

Par conséquent, même si le nombre et l'ampleur des dépassements des normes de qualité de l'air ont baissé sur la période 2008-2018, la Commission estimait que les États membres devaient consentir davantage d'efforts pour réduire la durée des périodes de dépassement.

Pour autant, l'évaluation n'indiquait pas encore de volonté de réviser les normes européennes de qualité de l'air, pourtant fixées il y a plus de 20 ans. Ces normes restent donc toujours en-deçà des valeurs guides de l'OMS de 2005 en vigueur au moment de l'évaluation et encore plus en-deçà des nouvelles valeurs guides de l'OMS adoptées en 2021 (*voir plus haut*). Toutefois depuis, la Commission a engagé une révision (*voir plus bas*, le Pacte vert et l'Ambition zéro pollution).

Plan d'action "zéro pollution" au sein du Pacte Vert (Green Deal)

Le **Pacte vert pour l'Europe** (*European Green Deal*) présenté le 11 décembre 2019, contient un volet sur la pollution de l'air. La Commission européenne s'est engagée à améliorer davantage la qualité de l'air et à aligner plus étroitement les normes de l'Union européenne sur les valeurs-guides de l'OMS.

Dans le cadre, la Commission a présenté le 12 mai 2021 son **plan d'actions zéro pollution** dans les trois compartiments environnementaux - l'air, l'eau et les sols, ainsi que celle induite par les produits de consommation.

Ce plan d'actions a défini :

- une **vision intégrée pour 2050** où la pollution est réduite à des niveaux qui ne soient plus nocifs pour la santé humaine et les écosystèmes naturels,
- et les **étapes** à franchir pour y parvenir.

Afin d'aider l'UE à réaliser sa vision 2050, le plan d'actions a fixé plusieurs **objectifs clés pour 2030**, dont :

- améliorer la qualité de l'air afin de réduire de plus de 55 % les effets de la pollution atmosphérique sur la santé (exprimés en nombre de décès prématurés, par rapport aux chiffres de 2005) ;
- et diminuer de 25 % (par rapport aux chiffres de 2005) l'étendue de la menace que fait peser la pollution atmosphérique sur la biodiversité dans les écosystèmes de l'Union européenne (UE), exprimée en superficie des écosystèmes dans lesquels les
- de promouvoir la pollution zéro dans l'ensemble des régions ;
- le lancement de "**laboratoires" pour des solutions numériques vertes et une pollution zéro intelligente** ;
- la **consolidation des centres de connaissances** de l'UE sur la pollution zéro et le rassemblement des parties prenantes au sein de la plateforme des acteurs concernés par l'ambition « zéro pollution » ;

dépôts d'azote dépassent les « charges critiques » par rapport aux chiffres de 2005.

Le plan d'actions n'a pas prévu de nouveaux objectifs de réduction des émissions de polluants plus ambitieux que ceux déjà définis dans le cadre de la directive NEC pour 2030.

Le plan a défini un certain nombre **d'initiatives et d'actions phares à mettre en œuvre,** notamment :

- un **alignement plus proche des normes de qualité de l'air de l'UE sur les nouvelles recommandations de l'OMS** dans le cadre de la révision de ses valeurs-guides (lignes directrices) ;
- le renforcement des dispositions législatives sur la surveillance, la modélisation et les plans relatifs à la qualité de l'air, tout en améliorant la mise en application du cadre législatif ;
- l'introduction **d'obligations plus strictes pour réduire la pollution des installations industrielles, de la production d'énergie, des transports, de l'agriculture et des bâtiments** (secteur résidentiel-tertiaire), y compris via des mesures prévues par le pacte vert pour l'Europe (mobilité durable et intelligente, stratégie de la ferme à la fourchette, etc.) ;
- la promotion, auprès des consommateurs, **d'une consommation « zéro pollution »** ;
- la présentation d'un **tableau de bord des performances écologiques des régions de l'UE** afin
- une **mise en œuvre et une application plus strictes de la législation** visant à atteindre la pollution zéro, en collaboration avec les autorités compétentes en matière d'environnement et d'autres autorités.

Le plan d'actions prévoyait également des actions spécifiques par secteur émetteur (agriculture, transports terrestres et maritimes, bâtiments, installations industrielles...).

Révision des directives Qualité de l'air

Dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe de 2019, la Commission a également indiqué qu'elle tirerait les enseignements de **l'évaluation de la législation actuelle en matière de qualité de l'air** (processus de réexamen dit "*fitness check*" de la législation sur la qualité de l'air et les résultats de ce réexamen publiés le 29 novembre 2019). Elle comptait proposer, d'une part, de **renforcer les dispositions relatives à la surveillance, à la modélisation et aux plans relatifs à la qualité de l'air**, et d'autre part, de **réviser les**

normes européennes en matière de qualité de l'air afin de les aligner davantage sur les valeurs guides en matière de qualité de l'air de l'OMS [Organisation mondiale de la santé].

En guise de lancement de ses travaux de révision des directives qualité de l'air (2008/50/CE et 2004/107/CE), la Commission a mené une consultation du 17 décembre 2020 au 14 janvier 2021 auprès des parties prenantes (administrations, collectivités, ONG…) sur la révision de la législation européenne relative à la qualité de l'air et ce, sur la base d'une étude d'impact initiale (*Inception Impact Assessment*).

La Commission a indiqué que des options politiques seraient élaborées pour trois domaines :

- alignement plus strict des normes de qualité de l'air de l'UE sur les connaissances scientifiques, y compris les dernières valeurs-guides de l'OMS ;
- amélioration du cadre législatif relatif à la qualité de l'air, y compris les dispositions relatives aux sanctions et à l'information du public, afin d'en renforcer l'efficacité et la cohérence ;
- renforcement de la surveillance, de la modélisation et des plans en matière de qualité de l'air.

Du 23 septembre au 16 décembre 2021, la Commission européenne a mené une **consultation publique** sur la révision de la législation européenne relative à la qualité de l'air (directives 2004/107/CE et 2008/50/CE) et ce, sur la base d'une **étude d'impact initiale**. Elle prévoyait de présenter une **proposition de directive au troisième trimestre 2022.**

Le 26 octobre 2022, la Commission européenne a présenté une proposition de directive révisant la directive 2008/50/CE sur la qualité de l'air ambiant.

La proposition de la Commission du 26 octobre 2022 visait à :

- fixer des normes de qualité de l'air intermédiaires pour 2030, « *mieux alignées avec les valeurs-guides de l'OMS* » [de 2021], sans toutefois atteindre leur niveau ;
- mettre l'UE sur une trajectoire pour atteindre « zéro-pollution » au plus tard en 2050, en synergie avec la politique climat vers la neutralité carbone à cette même échéance ;
- un réexamen régulier des normes de qualité de l'air pour les réévaluer au regard des dernières avancées scientifiques et technologiques ;
- baisser de plus de moitié la valeur limite annuelle de concentration des particules fines ($PM_{2,5}$). À titre d'exemple, la Commission propose que la valeur limite annuelle des $PM_{2,5}$ passe de 25 µg/m^3 [valeur actuelle en vigueur] à 10 µg/m^3 en 2030 (soit l'ancienne valeur guide de l'OMS de 2005 et non pas la nouvelle qui est de 5 µg/m^3 depuis le 21 septembre 2021) ;
- ajouter une valeur limite journalière de concentration pour les $PM_{2,5}$, à savoir 25 µg/m^3 à ne pas dépasser plus de 18 fois par an (à noter que la valeur guide de l'OMS de 2021 est de 15 µg/m^3) ;
- ce que les personnes souffrant d'impacts sanitaires de la pollution de l'air puissent avoir droit à une indemnisation, lorsque les règles de qualité de l'air de l'UE ne sont pas respectées ;
- à ce que les recours en justice, les sanctions effectives et l'information publique soient clarifiés ;
- renforcer le rôle des administrations locales pour le suivi et la modélisation de la qualité de l'air.

La proposition de directive a été soumise aux deux co-législateurs (Conseil de l'UE et Parlement européen) pour examen et adoption[37] . Le 24 avril 2024, le Parlement européen, réuni en séance plénière, a formellement adopté le texte de compromis final issu de l'accord politique provisoire conclu le 20 février 2024 entre les représentants du Parlement européen et le Conseil de l'UE dans le cadre de négociations en trilogue avec les représentants de la Commission.

Ainsi la directive révisée sur la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, directive (UE) 2024/2881 en date du 23 octobre 2024, est entrée en vigueur le 10 décembre 2024. Elle aligne plus étroitement les normes de qualité de l'air de l'Union européenne sur les recommandations scientifiques.

Ce texte déterminant fixe des objectifs en termes de qualité de l'air à atteindre en 2030 plus stricts pour plusieurs polluants à l'origine de troubles respiratoires

[37] Dans le cadre de la procédure législative ordinaire, prévue par le Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (articles 289 et 294)

dont les particules PM_{10} et $PM_{2,5}$, le dioxyde d'azote (NO_2) et le dioxyde de soufre (SO_2).

Le texte, qui fusionne les deux directives précédentes de 2004 et de 2008 en une seule, s'accompagne d'une série de nouvelles mesures et de normes plus strictes qui devraient permettre aux Européens de bénéficier d'un air plus sain

- **en réduisant de plus de moitié la valeur limite annuelle autorisée pour le principal polluant atmosphérique, les particules fines ($PM_{2,5}$) désormais fixé à 10 µg/m^3 par an (à comparer à 5 µg/m^3 préconisés par l'OMS) ;**
- **en actualisant les normes de qualité de l'air** (valeurs limites de concentration (norme la plus contraignante), valeurs cibles, objectifs à long terme, etc.) **pour les niveaux autorisés dans l'air ambiant pour un total de 12 polluants atmosphériques, dits polluants réglementés : dioxyde de soufre, dioxyde d'azote/oxydes d'azote, particules (PM_{10}, $PM_{2,5}$), ozone, benzène, plomb, monoxyde de carbone, arsenic, cadmium, nickel et benzo(a)pyrène;**
- en prévoyant de réviser régulièrement les normes de qualité de l'air, en fonction des dernières données scientifiques et des évolutions sociétales et technologiques ;
- en veillant à ce que les personnes souffrant de problèmes de santé dus à la pollution de l'air aient le droit d'être indemnisées en cas de violation des règles de l'UE en matière de qualité de l'air.

Désormais un seuil unique d'évaluation par polluant est défini, assorti de l'augmentation du nombre de mesures fixes pour certains polluants. Ces normes sont à respecter au **1er janvier 2030**.

Pour les deux polluants ayant la plus forte incidence sur la santé humaine, les $PM_{2,5}$ et le NO_2, les valeurs limites annuelles doivent être réduites de plus de moitié, passant respectivement de 25 µg/m^3 à 10 µg/m^3 et de 40 µg/m^3 à 20 µg/m^3. Ces deux nouvelles valeurs limites de concentration européennes sont toutefois deux fois plus élevées que les valeurs-guides de l'OMS (2021) pour ces deux polluants (respectivement 5 µg/m^3 et 10 µg/m^3). L'indicateur d'exposition moyenne dans une unité territoriale doit respecter les valeurs guides OMS pour le NO_2 et les $PM_{2,5}$ ou à défaut une trajectoire de réduction.

Si les normes fixées par la nouvelle directive pour les trois métaux lourds (arsenic - As, cadmium - Cd et nickel - Ni), ainsi que pour les HAP (benzo(a)pyrene - BaP), sont les mêmes que celles établies par la directive 2004/107/CE, la nouvelle directive renforce le type de norme qui s'applique à ces quatre polluants : ces valeurs cibles sont devenues des valeurs limites de concentration, c'est-à-dire le type de norme de qualité de l'air la plus contraignante.

La nouvelle directive prévoit également plus de points de prélèvements (stations de mesure) des polluants dans les villes : des « super sites » de surveillance sont mis en place afin d'acquérir des données sur le long terme, à raison en France de six sites urbains et six sites ruraux.

Les normes de qualité de l'air seront réexaminées d'ici le **31 décembre 2030** et au moins tous les cinq ans par la suite, et plus souvent si de nouvelles évolutions scientifiques, telles que les lignes directrices révisées de l'OMS en matière de qualité de l'air, le justifient.

Polluant	Périodicité	Type de norme	Norme en vigueur		Norme révisée adoptée pour 2030	Dépassements autorisés	Valeurs guides de l'OMS (2021)
$PM_{2,5}$	Annuelle	Valeur limite	25 µg/m^3	↘	10 µg/m3	-	5 µg/m3
	24h	Valeur limite	*pas de norme*	↓	25 µg/m3	18 fois/an	15 µg/m3
PM_{10}	Annuelle	Valeur limite	40 µg/m^3	↘	20 µg/m3	-	15 µg/m3
	24h	Valeur limite	50 µg/m^3	↘	45 µg/m3	18 fois/an	45 µg/m3
O_3	Moy. jour. max. sur 8h	Valeur cible	120 µg/m3	→	120 µg/m3	18 j/an (moy. sur 3 ans)	100 µg/m3
	Moy. jour. max. sur 8h	Objectif à long terme	120 µg/m3	↘	100 µg/m3**	3 j./an	
NO_2	Annuelle	Valeur limite	40 µg/m3	↘	20 µg/m3	-	10 µg/m3
	24h	Valeur limite	*pas de norme*	↓	50 µg/m3	18 fois/an	25 µg/m3
	1h	Valeur limite	200 µg/m3	→	200 µg/m3	3 fois/an	-
SO_2	Annuelle	Valeur limite	*pas de norme*	↓	20 µg/m3	-	-
	24h	Valeur limite	125 µg/m3	↘	50 µg/m3	18 fois/an	40 µg/m3
	1h	Valeur limite	350 µg/m3	→	350 µg/m3	3 fois/an	-
CO	24h	Valeur limite	*pas de norme*	↓	4 µg/m3	18 fois/an	4 µg/m3
	Moy. jour. max. sur 8h	Valeur limite	10 µg/m3	→	10 µg/m3	-	-
Benzène	Annuelle	Valeur limite	5 µg/m3	↘	3,4 µg/m3	-	-
Plomb	Annuelle	Valeur limite	0,5 µg/m3*	→	0,5 µg/m3	-	-
Arsenic	Annuelle	Valeur limite	6 ng/m3*	→	6 ng/m3	-	-
Cadmium	Annuelle	Valeur limite	5 ng/m3*	→	5 ng/m3	-	-
Nickel	Annuelle	Valeur limite	20 ng/m3*	→	20 ng/m3	-	-
BaP	Annuelle	Valeur limite	1 ng/m3*	→	1 ng/m3	-	-

Nouvelles normes de qualité de l'air pour la protection de la santé humaine fixées par la nouvelle directive révisant les directives 2004/107/CE et 2008/50/CE et comparaison avec les valeurs-guides de l'OMS (2021)

** valeurs cibles (et non valeurs limites) fixées par la directive 2004/107/CE (toutes les autres normes ayant été fixées par la directive 2008/50/CE)*

*** à atteindre en 2050 et non 2030.*

Sources : texte final de la nouvelle directive tel qu'adopté par le Parlement européen, directives 2008/50/CE (annexe VII [ozone], annexe XI [PM_{10}, NO_2, SO_2, CO, benzène et plomb] et annexe XIV [$PM_{2,5}$]) et 2004/107/CE (annexe I) et OMS, 2021.

Le texte a été publié au JOUE le 20 novembre 2024. Les États membres disposent maintenant de deux ans pour transposer en droit national les dispositions législatives, réglementaires et administratives de la nouvelle directive.

Infractions contre la France

La Commission européenne a engagé trois procédures d'infraction contre la France en lien avec la directive 2008/50/CE :

1) pour non-respect des valeurs limites de concentration (VLC) des PM_{10},
2) pour transposition incomplète de la directive 2008/50/CE,
3) pour dépassement des VLC applicables au NO_2.

Dans le cadre de cette **première procédure d'instruction**, la Commission européenne a annoncé, le 30 octobre 2020, avoir décidé de saisir la Cour de Justice de l'Union européenne (CJUE) d'un recours contre la France relatif à la mauvaise qualité de l'air due à des niveaux élevés de particules (PM_{10}). La saisine de la CJUE constitue la troisième étape de la procédure d'infraction formelle de l'UE. Cette décision est la conséquence de la procédure d'infraction lancée en 2009 par la Commission européenne contre la France.

Le 28 avril 2022, la France a été condamnée par la CJUE pour non-respect de la directive 2008/50/CE, et plus spécifiquement pour :

- « *dépassement de manière systématique et persistante* » de la valeur limite de concentration (VLC) journalière (contraignante) pour les PM_{10} (50 µg/m^3 en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile) depuis le 1er janvier 2005 dans l'agglomération de Paris et, depuis le 1erjanvier 2005 jusqu'à l'année 2016 incluse, dans l'agglomération de Fort-de-France en Martinique ;

- manquement, dans ces deux zones depuis le 11 juin 2010, aux obligations qui incombent à la France en vertu de l'article 23.1 de la directive 2008/50/CE et de son annexe XV, et en particulier à l'obligation de prendre des mesures pour réduire au maximum les périodes de dépassement.

Dans le cadre de la **deuxième procédure d'infraction**, le 24 janvier 2019, la Commission a envoyé une lettre de mise en demeure à la France, en lui demandant d'aligner sa réglementation en matière de qualité de l'air sur la directive 2008/50/CE. Selon la Commission, la France présentait des lacunes en ce qu'elle n'a pas transposé plusieurs dispositions de la directive dans sa réglementation nationale, notamment l'obligation de prendre des mesures appropriées pour écourter le plus possible les périodes de dépassement des normes de qualité de l'air ;

Dans le cadre de la **troisième procédure d'infraction**, le 11 octobre 2018, la Commission a introduit un recours en manquement contre la France devant la CJUE. Le 24 octobre 2019, dans un arrêt, celle-ci a condamné la France pour :

- dépassement de manière systématique et persistante de la VLC annuelle pour le NO_2 depuis le 1er janvier 2010 dans 12 agglomérations et zones de qualité de l'air françaises, et en dépassant de manière systématique et persistante la VLC horaire pour le NO_2 depuis le 1er janvier 2010 dans deux agglomérations et zones de qualité de l'air françaises ;

- manquement, depuis le 11 juin 2010, à l'obligation qui incombe à la France de veiller à ce que la période de dépassement soit la plus courte possible.

La France est alors juridiquement contrainte de prendre des mesures supplémentaires pour réduire la pollution de l'air : ainsi, elle doit maintenant se conformer aux deux arrêts de la CJUE dans les meilleurs délais. À défaut, la CJUE peut imposer des amendes.

Le 3 décembre 2020, la Commission européenne a annoncé qu'elle a formellement demandé à la France d'exécuter l'arrêt rendu par la CJUE le 24 octobre 2019. Si elle reconnaît les efforts consentis par les autorités françaises pour améliorer la qualité de l'air, à l'exception de la zone de Clermont-Ferrand, toutefois, souligne-t-elle, ces efforts ne sont pas encore suffisants pour limiter autant que possible les dépassements dans le temps. La Commission a donc demandé à la France, via une lettre de mise en demeure, d'adopter et de mettre en œuvre toutes les mesures nécessaires pour remédier à la situation et faire en sorte que la période de dépassement soit la plus courte possible. La France disposait alors d'un **délai de deux mois** pour répondre aux préoccupations soulevées par la Commission. À

défaut, cette dernière pourrait **renvoyer l'affaire devant la CJUE** et proposer que des **sanctions financières** soient infligées à la France.

Le 7 février 2024, la Commission européenne a annoncé, dans un communiqué, avoir adressé un avertissement formel à la France, sous forme de **lettre de mise en demeure complémentaire**, pour non-exécution de l'arrêt de la Cour de justice de l'UE (CJUE), rendu le 24 octobre 2019. La Commission a ainsi relancé le contentieux, en cours avec la France sur la mise en œuvre de la directive 2008/50/CE, et tout particulièrement sur le non-respect des valeurs limites de concentration (VLC) que la directive a fixées pour le NO_2. La Commission souligne que depuis l'arrêt du 24 octobre 2019, la France a pris certaines mesures et que de nouveaux plans relatifs à la qualité de l'air ont été adoptés dans certaines zones de mesure de la qualité de l'air afin de renforcer les actions existantes.

Toutefois, la France ne s'était pas conformée à l'arrêt de la CJUE en ce qui concerne les valeurs limites annuelles de NO_2 dans quatre zones de mesure de la qualité de l'air : Paris, Lyon, Strasbourg et Marseille-Aix. Quatorze ans après le délai fixé par la directive et plus de quatre ans après l'arrêt de la CJUE, les mesures adoptées jusqu'à alors n'avaient pas permis de résoudre efficacement la question. Pour tenir compte des mesures supplémentaires prises par la France, des données de surveillance les plus récentes et de la jurisprudence récente de la CJUE, la Commission a donc envoyé une lettre de mise en demeure complémentaire. La France disposait d'un délai de deux mois pour répondre et remédier aux manquements constatés. En l'absence de réponse satisfaisante, la Commission pourrait décider de saisir la CJUE, avec une demande d'infliger des sanctions financières.

À ce jour (15 mai 2025), aucune information n'a été rendue publique concernant la réponse de la France à cette mise en demeure complémentaire. À noter, comme l'a relevé le Conseil d'État dans une décision rendue publique le 25 avril 2025 à propos du contentieux ouvert le 12 juillet 2017 en matière de pollution de l'air contre le gouvernement français, en France hexagonale, plus aucune zone ne dépasse les seuils de pollution aux particules fines (PM_{10}) et le seuil de pollution au dioxyde d'azote (NO_2) est quasiment respecté à Lyon et proche de l'être à Paris au point que la Haute Juridiction estime que l'État français a mis en place les actions nécessaires pour améliorer la qualité de l'air en France et exécuté sa décision de justice de 2017 dans sa totalité (voir « Au niveau français »).

Par ailleurs, (au 28 mai 2024), la CJUE avait rendu huit autres arrêts contre plusieurs États membres pour non-respect de la directive 2008/50/CE :

- le 5 avril 2017, la CJUE a rendu un arrêt à l'encontre de la **Bulgarie** pour non-respect des VLC applicables aux PM_{10}. Il s'agissait de la première fois que la CJUE avait rendu un jugement contre un État membre pour non-respect de la législation de l'UE sur la qualité de l'air ;
- ce cas a créé un précédent car le 22 février 2018, la CJUE a rendu un 2e arrêt, à l'encontre de la **Pologne**, pour non-respect des VLC journalière et annuelle pour les PM_{10} sur la période 2007-2015, pour non-adoption, dans des plans sur la qualité de l'air, des mesures appropriées visant à réduire la période de dépassement des VLC, et pour transposition incomplète de la directive 2008/50/CE ;
- le 10 novembre 2020, la CJUE a rendu un arrêt à l'encontre de **l'Italie** pour non-respect de la VLC journalière et de la VLC annuelle des PM_{10} dans plusieurs zones du pays sur la période 2008-2017, pour ne pas avoir adopté de mesures appropriées pour garantir le respect des valeurs limites fixées pour les PM_{10} dans l'ensemble de ces zones, et pour non-respect de l'obligation prévue à l'article 23.1 de veiller à ce que la période de dépassement des VLC soit la plus courte possible ;
- le 4 mars 2021, la CJUE a rendu un arrêt à l'encontre du **Royaume-Uni** pour non-respect des VLC annuelle et horaire du NO_2 dans plusieurs zones sur la période 2010-2017 [alors qu'il était encore Etat membre de l'UE], pour ne pas avoir adopté de mesures appropriées pour garantir le respect de cette VLC dans l'ensemble de ces zones et pour non-adoption, dans des plans sur la qualité de l'air, des mesures appropriées visant à réduire la période de dépassement de ces VLC ;
- le 3 juin 2021, la CJUE a rendu un arrêt à l'encontre de **l'Allemagne** pour non-respect des VLC annuelle et horaire pour le NO_2 dans plusieurs zones du pays sur la période 2010-2016, pour ne pas avoir adopté de mesures appropriées pour garantir le respect de cette VLC dans l'ensemble de ces zones et pour non-adoption, dans des plans sur la qualité de l'air, des mesures appropriées visant à réduire la période de dépassement de ces VLC ;
- le 12 mai 2022, la CJUE a rendu un deuxième arrêt à l'encontre de **l'Italie**, cette fois, pour non-respect de la VLC annuelle pour le NO_2 dans plusieurs zones depuis 2010, pour ne pas avoir adopté de mesures appropriées pour garantir le respect de cette VLC dans l'ensemble de ces zones et pour non-adoption, dans des plans sur la qualité de l'air, des mesures

appropriées visant à réduire la période de dépassement de cette VLC ; le 12 mai 2022, la CJUE a rendu un deuxième arrêt à l'encontre de la **Bulgarie**, cette fois, pour non-respect de la VLC horaire pour le SO_2 dans le sud-est du pays depuis 2007 ;

- le 23 mars 2023, la CJUE a rendu un arrêt à l'encontre de la **Grèce** pour dépassement systématique et persistante de la VLC journalière pour les PM_{10} de 2005 à 2012, en 2014, puis de nouveau de 2017 à 2019 dans l'agglomération de Thessalonique, pour ne pas avoir adopté de mesures appropriées pour garantir le respect de cette VLC dans cette zone et pour non-adoption, dans des plans sur la qualité de l'air, des mesures appropriées visant à réduire la période de dépassement de cette VLC ;
- le 29 juin 2023, la CJUE a rendu un arrêt à l'encontre du **Portugal** pour dépassement systématique et persistante de la VLC annuelle pour le NO_2, du 1er janvier 2010 à l'année 2020 incluse, dans trois zones (dont Lisbonne-Nord et Porto-littoral), pour ne pas avoir adopté de mesures appropriées pour garantir le respect de cette VLC dans cette zone et pour non-adoption, dans des plans sur la qualité de l'air, des mesures appropriées visant à réduire la période de dépassement de cette VLC.

Le rapport biennal « Perspectives en matière d'air pur »

1e édition (2018)

La Commission avait publié le 7 juin 2018 la première édition du rapport. Celui-ci soulignait que des problèmes majeurs persistaient en ce qui concerne le dépassement des valeurs limites de concentration de certains polluants dans l'UE (PM_{10}, $PM_{2,5}$ et NO_2 en tête).

2e édition (2021)

Le 8 janvier 2021, la Commission européenne a publié la **2e édition de son rapport biennal "Perspectives en matière d'air pur"** (*Clean Air Outlook*). Ce rapport s'inscrit dans le cadre du programme Un air pur pour l'Europe (publié par la Commission en 2013) qui prévoit une mise à jour tous les deux ans des données sur lesquelles repose l'étude d'impact de la directive dite NEC 2 (directive 2016/2284) pour suivre et évaluer le progrès accompli vers la réalisation de ses objectifs et éclairer les débats du Forum Air pur.

Le rapport évalue les perspectives de réalisation des objectifs de la directive NEC 2 pour 2030 et au-delà, en tenant compte de l'ambition "zéro pollution" prévue par le pacte vert pour l'Europe (*Green Deal*) et de l'objectif du programme "Un air pur pour l'Europe" de réduire de moitié les incidences de la pollution atmosphérique sur la santé d'ici à 2030 par rapport à 2005. Le rapport montre que la plupart des États membres doivent encore consentir des efforts significatifs pour s'acquitter de leurs obligations pour 2020-2029 au titre de la directive NEC 2. Ainsi, presque tous les États membres doivent immédiatement et considérablement réduire les émissions de certains polluants pour se conformer à leurs obligations. C'est notamment le cas pour le NH_3.

3e édition (2022)

La Commission européenne a publié, le 1er décembre 2022, la 3e édition de son rapport biennal "Perspectives en matière d'air pur". Ce rapport couvre plusieurs aspects pouvant servir à la future revue de la directive NEC, prévue en 2025. En particulier, en annexe, le rapport présente une analyse prospective sur des projections d'émissions de polluants, selon les politiques en place et proposées, mais aussi en tenant compte de scénarios alternatifs. Comme pour l'édition précédente, ce rapport évalue les perspectives de réalisation des objectifs de la directive NEC 2 pour 2030 et au-delà.

Le rapport constate une réduction générale des émissions des principaux polluants atmosphériques, bien qu'à des rythmes très différents. Il s'inquiète cependant d'une stagnation des émissions d'ammoniac (NH_3, provenant à 94% du secteur agricole), voire d'une augmentation pour certains États membres.

Malgré ces baisses d'émissions, l'ampleur des incidences de la pollution sur la santé et les écosystèmes demeure problématique. En 2020, la plupart des habitants des zones urbaines de l'UE ont été exposés à un niveau de pollution atmosphérique préjudiciable à leur santé.

Après avoir examiné les inventaires des émissions de 2020 présentés par les États membres en 2022, la Commission en a conclu que 14 États membres manquaient à leurs engagements de réduction des émissions fixés par la directive NEC 2 pour au moins un polluant. Onze États membres n'ont pas respecté leurs engagements de réduction des émissions pour l'ammoniac. Les perspectives de réalisation des engagements de réduction des émissions d'ammoniac pris au titre de la directive NEC 2 restent faibles. Les États

membres doivent prendre d'importantes mesures supplémentaires afin de réduire leurs émissions d'ammoniac à la source, en promouvant de bonnes pratiques agricoles.

Les données relatives aux émissions de 2020 communiquées par les États membres en 2022 montrent également que plusieurs d'entre eux doivent réduire drastiquement les émissions de plusieurs polluants s'ils veulent pouvoir respecter leurs engagements de réduction des émissions plus ambitieux à partir de 2030. Entre 2020 et 2030, sept États membres doivent réduire leurs émissions de $PM_{2,5}$, tandis que huit États membres doivent réduire leurs émissions de NOx, et ce, de plus de 30%.

Par ailleurs, le rapport rappelle qu'en date d'octobre 2022, 28 procédures d'infraction étaient en cours en raison de dépassements des normes applicables à la qualité de l'air (au titre de la directive 2008/50/CE) constatés dans 18 États membres.

Enfin, en mettant en œuvre les politiques en vigueur et les stratégies proposées, en 2030, l'UE devrait atteindre l'objectif « zéro pollution » lié à la santé, la réduction du nombre de décès prématurés étant estimée à 66 % entre 2005 et 2030. Toutefois, elle n'est pas sur la bonne voie pour atteindre l'objectif lié aux écosystèmes. Ces projections soulignent la nécessité de prendre des mesures supplémentaires afin de réduire les émissions d'ammoniac. Cet objectif ne serait atteint qu'en 2040, une réduction de 20 % de l'étendue des zones à risque étant prévue entre 2005 et 2030. Le respect des nouvelles normes en matière de qualité de l'air, proposées dans la révision de la directive 2008/50/CE, permettrait à l'UE d'atteindre cet objectif en 2030 et serait bénéfique tant pour la santé que pour la biodiversité.

4e édition (2025)

La Commission européenne a publié le 3 mars 2025 la 4e édition de son rapport sur les « Perspectives en matière d'air pur en Europe ». Cette quatrième édition contribue de manière directe au deuxième rapport de surveillance et de prospective sur la « pollution zéro » de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) et du Centre commun de recherche (JRC), en analysant les probabilités d'atteindre les deux objectifs du plan d'action dit « zéro pollution » liés à l'air pur.

Ces objectifs sont les suivants :

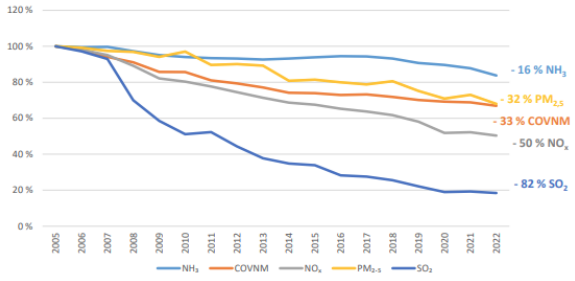
– réduire de plus de 55 % à l'horizon 2030 les incidences de la pollution atmosphérique sur la santé exprimées en nombre de décès prématurés, par rapport aux chiffres de 2005 ;

– et réduire de 25 % (par rapport aux chiffres de 2005) l'étendue de la menace que fait peser la pollution atmosphérique sur la biodiversité dans les écosystèmes de l'Union européenne (UE), exprimée en superficie des écosystèmes dans lesquels les dépôts d'azote dépassent les « charges critiques ».

Le rapport constate qu'au cours des dernières décennies, grâce à la législation de l'Union européenne en matière de qualité de l'air (directive (UE) 2024/2881, refonte de la directive 2004/107/CE du 15 décembre 2004 et de la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008) et aux mesures prises conjointement par l'UE et les autorités nationales, régionales et locales, **la pollution atmosphérique dans l'UE a diminué**.

Au fil des ans, l'UE a en effet réduit ses émissions pour ce qui est des principaux polluants atmosphériques, à des cadences toutefois très différentes selon le type de polluant. Comme le montre le graphique 1, depuis 2005, l'UE-27 a déjà réduit ses émissions de :

- SO_2 de plus de 80 %,
- NOx de 50 %,
- et de COVNM et $PM_{2,5}$ de plus de 30 %.



Graphique - Évolution des émissions des cinq principaux polluants atmosphériques de l'UE-27 pour la période 2005-2022 (en pourcentage des niveaux enregistrés en 2005)

Source : Agence européenne pour l'environnement, sur la base des inventaires des émissions de polluants atmosphériques des États membres, 3 mars 2025

Toutefois, relève le document, la qualité de l'air reste un sujet de préoccupation majeur pour la santé des citoyens européens, - en particulier dans les zones urbaines où les niveaux de pollution restent supérieurs aux niveaux établis dans les valeurs-guides de l'OMS -, **et pour l'état des écosystèmes**.

L'AEE a rappelé en décembre 2024 que la pollution atmosphérique demeure le principal risque environnemental pour la santé des Européens, avec plus de 350 000 décès imputables aux particules fines, à l'ozone et au dioxyde d'azote.

En outre, les niveaux d'émissions d'ammoniac (NH_3), dont plus de 90 % proviennent du secteur agricole du fait des épandages d'engrais et des effluents d'élevage, stagnent et ont même augmenté ces dernières années dans certains États membres.

Directives GIC et IED

Directive GIC (2001-2011/2016)

La directive 2001/80/CE du 23 octobre 2001 (JOCE du 27 novembre 2001 -**directive GIC**-) réglemente les émissions de SO_2, NO_x et particules des Grandes installations de Combustion entrant dans le champ de la directive pour chacun des États membres.

Les 217 installations en France métropolitaine en 2021 (18 pour l'outre-mer) constituent un sous-ensemble inclus dans les sources prises en compte dans le chapitre "évolution des émissions" et sont disséminées dans les secteurs "transformation, production et distribution d'énergie" et "industrie manufacturière" à l'exception de quelques installations appartenant au secteur "résidentiel/tertiaire" comme l'atteste l'inventaire exhaustif réalisé annuellement.

La transposition de cette directive en droit français a été assurée par quatre arrêtés :

- l'arrêté du 20 juin 2002 modifié pour les chaudières présentes dans les installations de combustion nouvelles ou modifiées dont l'arrêté d'autorisation est postérieur au 31 juillet,
- l'arrêté du 30 juillet 2003 modifié relatif aux chaudières présentes dans les installations de combustion existantes d'une puissance supérieure à 20 MWth,
- l'arrêté du 11 août 1999 modifié relatif aux moteurs et turbines à combustion,
- l'arrêté du 2 février 1998 modifié (arrêté du 21/06/2005) pour les raffineries.

Cette directive a remplacé la première directive GIC 88/609/CEE qui a été abrogée le 27 novembre 2002.

Il est à noter que la directive 2001/80/CE requérait :

- le maintien des inventaires des GIC avec l'inclusion des turbines à combustion et des particules,
- la disparition du plafond postérieurement à 2003, compte tenu de la mise en place de plafonds nationaux dans le cadre du programme visant à lutter contre l'acidification, l'eutrophisation et la pollution photochimique (directive 2001/81/CE),
- la possibilité pour les États membres de mettre en œuvre un schéma national de réduction pour les installations existantes qui permet plus de flexibilité dans la mise en œuvre de la directive.

Directive IED (depuis 2011)

Le contexte réglementaire des Grandes installations de combustion (GIC) et de nombreuses autres installations industrielles a été complètement modifié avec la publication de la **directive IED** (directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010) relative aux émissions industrielles. Cette dernière constituait une refonte en un seul texte juridique de sept textes législatifs existants dont la directive 2001/80/CE (directive GIC) et la directive 96/61/CE, dite directive IPPC. La directive IED est entrée en vigueur le 6 janvier 2011.

La France a publié en 2012 ainsi qu'en février et mai 2013, un ensemble de textes transcrivant la directive IED en droit français :

- ordonnance n°2012-7 du 5 janvier 2012 portant transposition du chapitre II de la directive 2010/75/CE,
- décret n°2013-374 du 2 mai 2013 portant transposition des dispositions générales et du chapitre II de la directive IED (les installations industrielles relevant du champ d'application de l'ancienne directive IPPC),
- décret n° 2013-375 du 2 mai 2013 modifiant la nomenclature des installations classées (ICPE),
- arrêté du 28 février 2013 portant transposition des chapitres V (installations et activités utilisant des solvants organiques) et VI (installations produisant du dioxyde de titane) de la directive IED,
- arrêté du 2 mai 2013 modifiant l'arrêté du 29 juin 2004 relatif au bilan de fonctionnement,
- arrêté du 2 mai 2013 modifiant l'arrêté du 15 décembre 2009 fixant certains seuils et critères,

- arrêté du 2 mai 2013 relatif aux définitions, liste et critères de la directive IED.

Le ministère de la Transition écologique et solidaire a publié plusieurs guides pour la bonne application de la directive IED :

- un guide visant à faciliter la mise en œuvre des textes de transposition de la directive IED. Le guide est conçu sous forme de questions-réponses, portant entre autres sur les meilleures techniques disponibles (MTD) et la définition des valeurs limites d'émission. Le guide initial de 2015 a été révisé à plusieurs reprises. La dernière version date de janvier 2020,
- un guide méthodologique pour l'élaboration du rapport de base prévu par la directive IED d'octobre 2014,
- un guide de demande de dérogation d'octobre 2017,
- un outil de présentation des coûts d'octobre 2017,
- un guide de rédaction d'un dossier de réexamen pour les grandes installations de combustion d'octobre 2017,
- un guide pour la simplification du réexamen d'octobre 2019.

Le pacte vert pour l'Europe (*Green Deal*), stratégie présentée par la Commission le 11 décembre 2019, prévoyait une feuille de route pour des actions clés visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, parmi lesquelles la révision, en 2021, des mesures visant à lutter contre la pollution causée par les grandes installations industrielles.

La Commission a lancé les travaux de révision de la directive IED, via une consultation menée auprès des Parties prenantes (administrations, collectivités, ONG…) du 24 mars au 21 avril 2020 (sur la base d'une étude d'impact initiale), puis via une consultation publique menée du 22 décembre 2020 au 23 mars 2021. L'étude d'impact initiale indique que l'évaluation de la directive IED a fait ressortir plusieurs domaines où il pourrait être nécessaire d'améliorer le cadre législatif pour mieux contribuer à la réalisation des objectifs climat et qualité de l'air de l'UE, parmi lesquels :

- l'extension du périmètre d'application de la directive IED à des secteurs industriels qui produisent de fortes émissions mais situés actuellement en dehors du champ d'application actuel de la directive IED et pour lesquels la directive IED pourrait être un instrument politique approprié ;
- la comparabilité de l'intégration, par les États membres, des obligations découlant de la directive IED (dont les conclusions MTD) dans les autorisations d'exploitation et la vérification ;
- l'élaboration des conclusions MTD ;
- l'accès public à l'information, la participation publique à la prise de décision et l'accès public à la justice ;
- l'interaction avec les efforts de décarbonation par le secteur industriel,
- la cohérence avec d'autres actes législatifs de l'UE.

Le 5 avril 2022, la Commission a présenté une proposition de directive révisant la directive IED, qui visait à :

- améliorer l'efficacité de la directive en matière de prévention ou, lorsque cela n'est pas possible, de réduction à la source des émissions de polluants produites par les installations agricoles et industrielles ;
- rendre les autorisations plus efficaces pour les installations. Au lieu de fixer les limites les moins exigeantes des meilleures techniques disponibles (MTD), comme le font actuellement quelque 80 % des installations, la procédure d'autorisation devra évaluer les possibilités d'atteindre les meilleures performances. Elle renforcera également les règles relatives à l'octroi de dérogations en harmonisant les évaluations requises et en assurant un réexamen régulier des dérogations accordées ;
- clarifier, moderniser et simplifier la législation en vigueur (par exemple par la numérisation et l'amélioration des connaissances sur les sources de pollution) et réduire la charge administrative, tout en favorisant une mise en œuvre cohérente par les États membres ;
- promouvoir l'adoption de technologies et de techniques innovantes dans le cadre des transformations actuellement à l'œuvre dans l'industrie, en révisant sans tarder les documents de référence sur les meilleures techniques disponibles (documents de référence MTD), lorsqu'il est prouvé que des techniques innovantes plus performantes deviennent disponibles ;
- fournir une aide plus importante pour les **« pionniers de l'innovation de l'UE ».** Au lieu des autorisations fondées sur les MTD bien établies, ces « pionniers » pourront tester des techniques émergentes, en bénéficiant d'autorisations plus souples. La création

d'un **centre d'innovation pour la transformation industrielle et les émissions** (*Innovation Centre for Industrial Transformation and Emissions* ou INCIT) est prévue pour aider l'industrie à trouver des solutions afin de réduire les émissions polluantes du secteur ;

- soutenir la mise en œuvre des objectifs fixés par l'UE pour l'ambition « **zéro pollution » d'ici 2050**, l'économie circulaire et la décarbonation : d'ici 2030 ou 2034, les exploitants devront élaborer des **plans de transformation** pour leurs sites à cette fin ;
- garantir **l'accès des particuliers et de la société civile à l'information, la participation au processus décisionnel et l'accès à la justice** (y compris à des mécanismes de recours effectifs) en ce qui concerne l'autorisation, l'exploitation et le contrôle des installations réglementées, ce qui se traduira par une action renforcée de la société civile. En outre, le registre européen des rejets et des transferts de polluants (dit E-PRTR) sera transformé en un portail des émissions industrielles de l'UE grâce auquel les citoyens pourront accéder aux données sur les autorisations délivrées dans toute l'Europe et avoir facilement un aperçu des activités polluantes dans leur environnement immédiat ;
- soutenir la transition vers **l'utilisation de produits chimiques plus sûrs et moins toxiques, une utilisation plus efficace des ressources** (énergie, eau et prévention des déchets) et une plus grande circularité ;
- soutenir la **décarbonation** en favorisant les synergies en matière d'utilisation de techniques qui préviennent ou réduisent la pollution et les émissions de CO_2, ainsi que d'investissements dans ces techniques ;
- **élargir le champ d'application de la directive IED** à certaines activités non réglementées jusque-là : par exemple, la proposition de directive prévoit d'ajouter **l'élevage intensif de bovins** aux installations d'élevage intensif de porcs et de volailles déjà visées (20 000 exploitations) et d'intégrer davantage d'élevages porcins et avicoles. Ainsi, toutes les exploitations bovines, porcines et avicoles comportant plus de 150 unités de gros bétail seront visées. Selon les nouvelles règles proposées, les plus grandes exploitations d'élevage de bovins, porcins et de volaille seraient progressivement couvertes (165 000 exploitations supplémentaires seront intégrées, portant donc le nombre total d'installations d'élevage visées à 185 000) : environ 13 % des exploitations agricoles commerciales européennes sont responsables de 60% des émissions d'élevage de NH_3 et de 43 % de celles de CH_4 dans l'UE.

  Selon la Commission, les bénéfices pour la santé de cette couverture élargie sont estimés à plus de 5,5 milliards d'euros par an (*source : communiqué de la Commission du 5 avril 2022*). Étant donné que les exploitations agricoles ont des activités plus simples que les installations industrielles, toutes les exploitations couvertes bénéficieront d'un régime d'autorisation allégé. Les obligations découlant de la proposition tiendront compte de la taille des exploitations et de la densité du cheptel grâce à des exigences adaptées.

En d'autres termes, la proposition de directive visait à minimiser l'impact de la pollution sur la santé des personnes et sur l'environnement en réduisant les émissions nocives de l'industrie et de l'élevage intensif dans l'ensemble de l'UE.

La proposition a été soumise aux deux co-législateurs (Conseil de l'UE et Parlement européen) pour examen et adoption dans le cadre de la procédure législative ordinaire. Le texte de compromis a été formellement adopté le 12 mars 2024 par le Parlement européen et le 12 avril 2024 par le Conseil de l'UE.

La directive 2024/1785 du 24 avril 2024, dite « IED 2 », modifiant la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) et la directive 1999/31/CE du Conseil concernant la mise en décharge des déchets ont été publiées au JOUE le 15 juillet 2024. Le texte est entré en vigueur le 4 août 2024. Les États membres ont jusqu'au 1er juillet 2026 pour la transposer.

Directive MCP

La directive (UE) 2015/2193 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015 relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère provenant des installations de combustion moyennes ou MCP en anglais (*Medium Combustion Plant Directive*) (de 1 à 50 MW) a été publiée au JOUE du 28 novembre 2015. Des valeurs limites d'émission de SO_2, de NOx et de poussières s'appliquent aux MCP depuis le 20 décembre 2018

pour les MCP nouvelles[38], s'appliqueront à compter du 1er janvier 2025 pour les MCP existantes de 5 à 50 MW et du 1er janvier 2030 pour les MCP de 1 à 5 MW.

Le 23 septembre 2021, la Commission a formellement demandé à la France de transposer correctement en droit national la directive MCP. Les États membres devaient transposer les dispositions législatives de la directive MCP dans leur droit national au plus tard le 19 décembre 2017. La France n'avait que partiellement transposé cette directive par le décret et les cinq arrêtés du 3 août 2018. Concrètement, la Commission a décidé de lancer la première étape de la procédure d'infraction, en adressant une lettre de mise en demeure au Gouvernement français (plus précisément le MTE) au motif que la France n'a pas transposé correctement en droit national les dispositions législatives de la directive MCP (dont les obligations qui incombent à la France au titre de cette directive).

Pour rectifier la situation, le MTE a élaboré un projet d'arrêté visant à modifier les quatre premiers arrêtés de transposition précités. Le MTE a mené une consultation publique du 14 septembre au 4 octobre 2022 sur ce projet d'arrêté. Le texte définitif adopté a été publié au JO du 23 décembre 2022 et s'intitule l'arrêté du 8 décembre 2022 modifiant plusieurs arrêtés ministériels relatifs aux installations de combustion.

Les objectifs de cet arrêté modificatif sont :

- mieux transposer la directive MCP ;
- corriger des erreurs et incohérences présentes dans les arrêtés ;
- harmoniser les prescriptions relatives à l'eau, aux déchets et aux risques accidentels de l'arrêté encadrant les moyennes installations de combustion soumises à autorisation (entre 1 et 50 MW) avec l'arrêté similaire encadrant les grandes installations de combustion soumises à autorisation (plus de 50 MW) et l'arrêté du 2 février 1998 relatif à la prévention des pollutions dues aux installations industrielles ;
- intégrer de nouvelles dispositions concernant l'épandage des cendres issues de chaudières biomasse dans les arrêtés qui s'appliquent aux installations soumises à déclaration ou à enregistrement ;
- améliorer la clarté de certains points des arrêtés.

Registre E-PRTR

En application du Protocole de Kiev sur les registres des rejets et transferts de polluants (dit Protocole PRTR – *voir plus haut*), le registre européen des rejets et transferts de polluants (dit E-PRTR) a été formellement établi par le règlement (CE) n° 166/2006 et mis en ligne le 9 novembre 2009. L'E-PRTR couvre 91 polluants émis dans l'air, l'eau et les sols (énumérés à l'annexe II) relevant de 65 domaines d'activité (énumérées à l'annexe I) par environ 30 000 installations industrielles au sein de 33 pays européens [UE-27 + Royaume-Uni, Islande, Liechtenstein, Norvège, Suisse et Serbie]. Les données d'émission sont déclarées par les États membres au titre de l'article 7 du règlement E-PRTR.

Le registre permet au public d'accéder à ces informations environnementales clés afin de se renseigner sur les émissions industrielles au niveau local, sur les installations émettrices et sur l'évolution de ces émissions.

La Commission a réalisé un premier bilan du cadre juridique du règlement E-PRTR qui a été publié le 13 décembre 2017 (*réf. SWD (2017) 710 final*). Ce bilan a alimenté les travaux d'élaboration du 2e rapport de mise en œuvre du règlement, publié le même jour (*réf. COM(2017)810 final*).

Le 8 juillet 2019, l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) avait publié une note d'analyse

[38] Compte tenu de cette directive et d'un ensemble de modifications sur la réglementation ICPE (installations IED, installations soumises à autorisation, à enregistrement et à déclaration), la France a modifié la nomenclature des installations ICPE et adopté un décret et cinq arrêtés le 3 août 2018 (JO du 5 août 2018) et modifiant les arrêtés existant de 2013 :

- décret n°2018-704 modifiant la rubrique 2910 de la nomenclature des installations classées (ICPE) afin de prendre en compte toutes les IC visées par la directive MCP ;
- arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration au titre de la rubrique 2910 (≥1 MW et <20 MW). En conformité avec la directive MCP, des valeurs limites d'émission plus contraignantes s'appliquent à compter du 1er jan. 2025 pour les installations >5 MW et à compter du 1er jan. 2030 pour celles <5 MW ;
- arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE relevant du régime d'enregistrement - rubrique 2910 ;
- arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE d'une puissance thermique nominale totale <50 MW soumises à autorisation au titre des rubriques 2910, 2931 ou 3110 [Il abroge l'arrêté du 26 août 2013(5) relatif aux IC ≥20 MW soumises à autorisation (rubriques 2910 ou 2931)] ;
- arrêté relatif aux IC ≥50 MW soumises à autorisation au titre de la rubrique 3110 ;
- arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux appareils de combustion consommant du biogaz produit par des installations de méthanisation (rubrique 2781-1) inclus dans une IC soumise à déclaration (rubrique 2910).
- En 2019, l'ensemble de ces arrêtés a été révisé

(*briefing*) sur l'E-PRTR), à l'occasion du 10e anniversaire de sa mise en ligne.

Par ailleurs, un rapport d'évaluation de la mise en œuvre du règlement E-PRTR et des orientations connexes, réalisé par un consortium européen de cabinets de consultants, a été publié le 31 janvier 2020.

Entre le 28 septembre et le 26 octobre 2020, la Commission européenne a mené une consultation des parties prenantes sur la révision du règlement (CE) 166/2006 et ce, sur la base d'une étude d'impact initiale. Ensuite, elle a mené une consultation publique sur le sujet du 22 décembre 2020 au 23 mars 2021[39].

Le 5 avril 2022, la Commission a présenté une proposition de règlement révisant le règlement (CE) n° 166/2006 afin de créer un portail d'émissions industrielles. Le principal objectif global de cette proposition était d'avancer vers la réalisation de l'ambition de l'UE d'atteindre un niveau de zéro pollution en 2050 conformément à son plan d'actions adopté le 12 mai 2021, en permettant au public d'accéder à un ensemble de données plus intégrées et cohérentes sur les principales émissions environnementales générées par les installations industrielles.

Concrètement, la proposition de règlement visait à :

- améliorer la transparence des données et l'accès du public aux informations sur les émissions industrielles via la création du nouveau portail sur les émissions industrielles, formalise par le nouveau règlement et lancé en juin 2021,
- améliorer les synergies en matière de communication d'informations réalisées au titre de la directive IED (c'est-à-dire réaligner le champ d'application sectoriel et la cohérence des rapports afin de mieux soutenir la mise en œuvre de la directive IED) ;
- faciliter la participation du public au processus décisionnel en matière d'environnement, y compris l'identification des sources de pollution ;
- élargir le champ d'application sectoriel et renforcer la précision du rapportage afin de mieux soutenir la mise en œuvre de la directive IED ;
- améliorer la capacité à répondre aux nouvelles exigences futures en matière de rapportage sur les polluants et les activités émettrices ;
- fournir des informations sur la consommation, par le secteur industriel, de l'énergie, de l'eau et des matières premières afin de suivre les progrès accomplis vers une économie circulaire et efficace dans l'utilisation des ressources.

La proposition de règlement a été soumise aux deux co-législateurs (Conseil de l'UE et Parlement européen) pour examen et adoption dans le cadre de la procédure législative ordinaire. Le texte de compromis a été formellement adopté le 12 mars 2024 par le Parlement européen et le 12 avril 2024 par le Conseil de l'UE, avant d'être publié au JOUE du 2 mai 2024. Le nouveau règlement (UE) 2024/1244 du Parlement européen et du Conseil du 24 avril 2024 établit, d'une part, un portail sur les émissions industrielles, et d'autre part, des règles sur la notification des données environnementales des installations industrielles. Il vient remplacer et abroger le règlement (CE) n°166/2006 établissant l'E-PRTR.

Le 8e Programme d'actions pour l'environnement de l'UE

Depuis le début des années 1970, les programmes d'action généraux de l'UE pour l'environnement (PAE) établissent un cadre politique visant à garantir une action coordonnée en matière de politiques environnementales. Le 8e PAE, couvrant la période 2021-2030, a été publié au JOUE L 114/22 du 12 avril 2022 : décision (UE) 2022/591 du Parlement européen et du Conseil du 6 avril 2022 relative à un programme

[39] En s'appuyant sur les rapports précités, la Commission avait pu identifier un certain nombre d'aspects où elle jugeait possible d'améliorer le règlement E-PRTR (1) :

- réexaminer les secteurs couverts par le règlement, en vue d'ajouter des activités agro-alimentaires très émettrices (autres que celles déjà visées à l'annexe I : catégories 7 [élevage intensif], 8 [produits animaux ou végétaux de l'industrie alimentaire]),
- s'assurer que les polluants visés par le règlement sont totalement pertinents (et intégrer les polluants à préoccupation grandissante, que ce soit dans l'air, l'eau ou le sol). Le rapport d'évaluation de janvier 2020 précité (cf. p.109) proposait par exemple, pour l'air, l'inclusion des PM2,5 [seules les PM10 sont visées par l'annexe II du règlement E-PRTR],
- collecter des informations qui contribuent à l'économie circulaire et à la décarbonation,
- améliorer les connaissances dans les domaines où celles-ci sont jugées insuffisantes aujourd'hui (par exemple le transfert de déchets, les émissions diffuses…),
- renforcer la qualité, la facilité et la rapidité de l'accès public aux informations,
- envisager de renforcer la flexibilité en matière de collecte des données (approche bottom-up [ascendante] par rapport à l'approche top-down [descendante]).

d'action général de l'Union pour l'environnement à l'horizon 2030. Le Parlement européen l'avait adopté le 10 mars 2022 et le Conseil le 29 mars 2022.

Le 8e PAE vise notamment à accélérer la transition de l'UE vers une économie neutre en carbone, propre, circulaire et du bien-être ; et à aligner la politique de l'UE avec les objectifs du pacte vert pour l'Europe (*European Green Deal*). Il soutient et renforce une approche intégrée des politiques environnementales. Il constitue la base de la réalisation des objectifs en matière d'environnement et de climat définis dans le programme à l'horizon 2030 des Nations unies et ses objectifs de développement durable (ODD), ainsi que des objectifs que poursuivent les accords multilatéraux en matière d'environnement et de climat.

Le 8e PAE définit d'abord (article 2 de la décision) un **objectif général** : « *le 8e PAE a pour objectif à long terme que, au plus tard en 2050, les personnes vivent bien, dans les limites de notre planète, dans une économie du bien-être où rien n'est gaspillé, où la croissance est régénérative, où la neutralité climatique dans l'Union est assurée et où les inégalités ont été considérablement réduites* ».

Le 8e PAE comprend six objectifs thématiques prioritaires dont le suivant : viser **zéro pollution**, notamment pour la pollution de l'air (mais aussi l'eau et les sols, la pollution lumineuse et sonore), la protection de la santé et du bien-être des personnes, des animaux et des écosystèmes.

L'article 3 de la décision liste des conditions de réalisation des objectifs prioritaires, et notamment :

- privilégier l'application effective du **droit de l'environnement** de l'UE là où cette application fait défaut, y compris au moyen de procédures d'infraction ; renforcer la coopération judiciaire dans le domaine de la **criminalité environnementale**, et accentuer la répression de celle-ci
- **intégrer les objectifs prioritaires de ce PAE dans toutes les stratégies**, initiatives législatives et non législatives, programmes, investissements et projets pertinents au niveau de l'Union ainsi qu'au niveau national, régional et local
- élaborer un **ensemble d'indicateurs mesurant « au-delà du PIB »,** les progrès sociaux, économiques et environnementaux,
- veiller à ce que les inégalités sociales résultant des incidences et des politiques liées au climat et à l'environnement soient réduites au minimum.

La Commission, soutenue par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) et par l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA), suit et évalue chaque année les progrès réalisés par l'UE et les États membres en ce qui concerne la réalisation de ces objectifs prioritaires, et communique chaque année des informations sur ces progrès (art. 4 de la décision).

Application du principe pollueur-payeur

Entre le 12 mai et le 4 août 2023, la Commission européenne a mené une consultation publique sur l'application du principe pollueur-payeur dans l'UE, et plus précisément dans le cadre des politiques concernant la protection de l'environnement, dont entre autres les politiques de lutte contre la pollution de l'air. Le principe du pollueur-payeur a été initialement établi au début des années 1970, lorsque des réglementations environnementales strictes ont été introduites dans les pays industrialisés. **Selon l'OCDE, le « principe du pollueur-payeur » (PPP) stipule que le pollueur doit supporter les dépenses liées à la mise en œuvre de mesures de prévention de la pollution ou au paiement des dommages causés par la pollution. Au niveau européen, le PPP est un principe clé qui sous-tend la législation et les politiques de l'UE en matière d'environnement. Il est consacré dans l'article 191, paragraphe 2, du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE).**

Cette nouvelle consultation publique s'inscrit dans le cadre des processus de réexamen (*fitness checks*) des politiques et actes juridiques de l'UE que conduit régulièrement la Commission européenne afin de déterminer s'ils doivent demeurer dans l'état ou être modifiés pour qu'ils soient toujours « *fit for purpose* », c'est-à-dire qu'ils soient toujours adaptés aux objectifs poursuivis. Ces réexamens consistent en général en une analyse approfondie de la performance de la législation existante et des programmes de dépenses pour vérifier qu'ils sont efficaces, pertinents et cohérents, et que l'intervention au niveau de l'UE apporte réellement une valeur ajoutée.

Dans le cas précis du PPP, le réexamen mené par la Commission vise à examiner si les politiques nationales et de l'UE font supporter par les pollueurs le coût des mesures de prévention, de réduction et de traitement de de la pollution. Il couvre des aspects tels que le recours par l'UE et par les pays de l'UE à des instruments fondés sur le marché et aux paiements indirects au pollueur via des subventions préjudiciables à l'environnement, et également la non-application du principe du pollueur-payeur dans le cadre des fonds de l'UE, la manière dont la responsabilité environnementale est traitée et le

recours à la tarification dans les politiques (par exemple, la tarification du carbone).

La Commission avait annoncé dans son plan d'actions zéro pollution, publié le 12 mai 2021, que l'attribution d'un prix juste à la pollution et la création d'incitations à l'adoption de solutions de remplacement, comme l'exige le principe du pollueur-payeur, constituent un moteur essentiel pour stimuler une production et une consommation plus propres. Aujourd'hui, la pollution est encore principalement traitée par la réglementation ; ses coûts externes ne sont pas entièrement internalisés. La Commission avait également souligné qu'il était possible de recourir davantage à la tarification (instruments économiques et/ou fiscaux). Pour soutenir ce processus, elle avait donc indiqué qu'elle adopterait une recommandation pour mieux appliquer le principe du pollueur-payeur et supprimer progressivement la « pollution gratuite » sur la base d'un réexamen (*fitness check*) en 2024.

La Commission visait, via la consultation publique, à recueillir des informations, des données et des avis de la part des parties prenantes et du grand public.

Le réexamen, prévu au 2e trimestre 2024 selon le plan de gestion publié début mai 2024 par la DG Environnement de la Commission, devait analyser dans quelle mesure le PPP est bien appliqué, en passant ainsi en revue les activités et politiques liées à l'environnement au regard de leurs objectifs principaux (tels que le changement climatique, la politique de l'eau, la politique de l'air, la politique en matière de déchets ou les exigences en matière de responsabilité environnementale), ainsi que des politiques sectorielles dans d'autres domaines qui intègrent des considérations environnementales, telles que les activités et les politiques en faveur de l'industrie et de l'économie circulaire, de l'agriculture, de la pêche, de l'énergie et des transports. L'évaluation déterminera également les acteurs qui sont responsables de l'application du principe du pollueur-payeur (y compris la répartition des responsabilités de cette application entre l'UE et ses États membres).

Sur la base des conclusions du réexamen, la Commission devait élaborer en **2024** des **recommandations** (non contraignantes) sur la manière de mieux appliquer le PPP dans l'UE. À la fin mai 2025, le document n'était pas disponible.

► Pour connaître le détail du statut de la France vis-à-vis des objectifs de réduction d'émissions de polluants, voir les sections dédiées à chaque substance visée, ainsi que le tableau récapitulatif en Annexe

Action au niveau national
Loi sur la transition énergétique

Objectifs de la LTE contre les émissions de polluants des transports

La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTE), publiée au JO du

18 août 2015 (*voir plus loin*), a fixé un objectif général dans le domaine de la lutte contre la pollution atmosphérique : la politique énergétique nationale doit contribuer à la réalisation des objectifs de réduction de la pollution atmosphérique prévus par le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) (article 1er).

Le Titre III de la LTE (Transports) comporte plusieurs dispositions pour accélérer la réduction des émissions de polluants :

- l'auto-partage (article 34) et le co-voiturage (article 48),
- la priorité aux transports en commun à faibles émissions de polluants atmosphériques (et de GES) (article 36),
- des objectifs chiffrés, assortis d'échéances précises, pour accroître la part des véhicules à faibles émissions (de polluants et de GES) dans les flottes publiques (l'État, ses établissements publics, les collectivités territoriales, les entreprises nationales) (article 37),
- un objectif, d'ici 2030, d'installation d'au moins sept millions de points de charge de véhicules électriques et hybrides rechargeables (article 41),
- la possibilité, pour les maires ou les présidents d'un établissement public de coopération intercommunale, de créer des zones de circulation restreinte (ZCR) dans les agglomérations et les zones couvertes par un plan de protection de l'atmosphère (PPA) qui est adopté, en cours d'élaboration ou de révision. Les ZCR sont délimitées par un arrêté qui fixe les mesures de restriction de circulation applicables et détermine les catégories de véhicules visées. Les véhicules autorisés à circuler dans une ZCR font l'objet d'une identification fondée sur leur contribution à la réduction de la pollution atmosphérique (article 48),
- le renforcement du contrôle des émissions de polluants atmosphériques (dont les particules fines) à l'échappement des véhicules particuliers et utilitaires légers lors du contrôle technique (article 65).

PREPA

Au titre de l'article 64 de la LTE, le ministère de l'Environnement a adopté le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques - PREPA en mai 2016 (se substituant au précédent PREPA adopté en juillet 2003), afin d'améliorer la qualité de l'air et de réduire l'exposition des populations à la pollution atmosphérique.

À cette fin, des objectifs nationaux de réduction des émissions de polluants atmosphériques (à l'exclusion de celles du CH_4 dues à la fermentation entérique des ruminants d'élevage) ont été fixés par le décret n° 2017-949 du 10 mai 2017 pour les périodes 2020-2024, 2025-2029 et à partir de 2030 (cf. tableau ci-après).

Le PREPA doit être réévalué tous les cinq ans et, si besoin, révisé.

Engagements nationaux de réduction fixés pour la France (année de référence : **2005**)

	2020-2024	2025-2029	À partir de 2030
SO_2	-55%	-66%	-77%
NOx	-50%	-60%	-69%
COVNM	-43%	-47%	-52%
NH_3	-4%	-4%	-13%
$PM_{2,5}$	-27%	-42%	-57%

Suite à la consultation publique, **l'arrêté du 8 décembre 2022** établissant la version définitive du PREPA a été publié au JO du 16 décembre 2022. Ce nouveau PREPA, qui constitue donc le troisième et dont le suivi est assuré par le Conseil national de l'air (CNA) au moins une fois par an, couvre la période **2022-2025**.

Cet arrêté PREPA définit en annexe **six axes prioritaires** regroupant **49 mesures de réduction des émissions** des **cinq polluants visés (SO_2, NO_x, NH_3, COVNM et $PM_{2,5}$)** dans tous les secteurs. C'est dans le secteur des **transports** que le PREPA 2023-2027 cible le plus grand nombre de mesures (19 en tout), suivi de

l'agriculture (13). Chaque mesure est assortie de **modalités de mise en œuvre**. L'arrêté prévoit également des **mesures de contrôle et de soutien** des actions mises en œuvre, et des **actions d'amélioration** des connaissances, de mobilisation des territoires, et de financement.

Deux scénarios d'émissions sous-tendent le PREPA : l'un comprenant toutes les mesures existantes (c'est-à-dire les mesures adoptées jusqu'au 31 décembre 2019) appelé **scénario AME** et l'autre comprenant des mesures dites supplémentaires (dit **scénario AMS**) décidées et/ou élaborées depuis le 1er janvier 2020. Dans le cadre de ces travaux préparatoires, le **Citepa** est venu en appui au MTE pour construire des scénarios prospectifs d'émissions de polluants atmosphériques pour la France de 2020 à 2050, par intervalle de cinq ans, selon un scénario AME et un scénario AMS.

Le rapport final établi par le Citepa, et soumis au MTE en novembre 2021, qui est disponible sur le site du MTE, présente les méthodologies d'estimation et de données utilisées, et analyse les réductions d'émission estimées par sous-secteur et par substance, selon les mesures en vigueur. Le scénario AMS se fondant sur le même scénario de données climat modélisées que pour le scénario AME, l'impact des mesures supplémentaires du PREPA peut être mieux apprécié, en comparaison au scénario AME. Selon le MTE, ces évaluations montrent que le scénario avec mesures supplémentaires permettrait de respecter les plafonds d'émissions des cinq polluants fixés pour la France par la directive NEC 2, et est même nécessaire pour l'atteinte des objectifs de rejets de NH_3 de 2030 (seule substance ne respectant pas les objectifs dans le scénario AME).

Agnès Pannier-Runacher a annoncé le 12 mai 2025 le lancement d'un nouveau PREPA (PREPA-3) sur la période 2026-2029.

Les zones à faibles émissions (ZFE)

Loi d'orientation des mobilités et ZFE

Une des principales mesures prévues par la loi d'orientation des mobilités (LOM – *voir section Climat – au niveau français*) a été la mise en place des zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m – articles 85 et 86). Ces dernières ont remplacé les zones à circulation restreinte (ZCR), prévues par la loi n°2015-992 sur la transition énergétique (article 48) et mises en application par le décret n°2016-847.

L'article 86 de la LOM a rendu obligatoire l'instauration d'une ZFE-m avant le 31 décembre 2020 lorsque les normes de qualité de l'air n'étaient pas respectées de manière régulière sur le territoire de la commune ou du groupement de communes. À compter du 1er janvier 2021, l'instauration d'une ZFE-m était également obligatoire, dans un délai de deux ans, lorsque les normes de qualité de l'air ne sont pas respectées de manière régulière sur le territoire de la commune ou du groupement de communes et que les transports terrestres sont à l'origine d'une part prépondérante des dépassements.

Ainsi, le principe d'une ZFE-m, qui repose sur le système des vignettes Crit'Air, consiste en la possibilité pour une collectivité de limiter l'accès à une partie du territoire aux véhicules les plus émetteurs de polluants atmosphériques pendant une période donnée (jours, heures, etc.), selon les critères de son choix (périmètre, horaires, types de véhicules), dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'air et de protéger la santé des populations. Par ailleurs, des restrictions de circulation lors des pics de pollution peuvent être prises de façon automatique par les préfets.

Avec la loi LOM, toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants ont été amenées à étudier la faisabilité de la mise en place d'une ZFE-m qui visait un déploiement rapide, surtout dans les 12 agglomérations visées par le contentieux européen et où les valeurs limites de concentration pour le NO_2 et les PM_{10} étaient régulièrement dépassées (Île-de-France, Marseille, Nice, Lyon, Grenoble, Strasbourg…). Alors qu'il existait 247 ZFE (*Low Emission Zones* ou LEZ) en avril 2020 dans 13 États membres de l'UE (*Ademe, septembre 2020*), seulement trois agglomérations en France (Paris, Grenoble et Strasbourg) s'étaient engagées dans une telle démarche avant que la LOM n'étende les prescriptions de façon plus large.

En application de la LOM, le décret n°2020-1138 du 16 septembre 2021 (JO du 17 septembre 2020) a fixé les critères de mise en place d'une ZFE-m en définissant les critères relatifs au non-respect de manière régulière des normes de la qualité de l'air donnant lieu à une obligation d'instauration d'une ZFE-m et la notion de part prépondérante des transports routiers dans les dépassements.

Par ailleurs, le décret assouplissait également les critères relatifs à la création des ZFE-m dans les zones ne respectant pas la réglementation relative à la qualité de l'air, en exemptant davantage de collectivités de taille moyenne dans trois cas

spécifiques (non applicables aux grandes métropoles) :

- si des dépassements des valeurs limites sont régulières mais que ces valeurs sont respectées pour au moins 95% de la population de chaque commune concernée ;

- si les collectivités démontrent que les actions en place (notamment dans le cadre d'un PPA) permettent d'atteindre le respect des valeurs limites pour l'ensemble de la population de chaque commune, dans des délais plus courts qu'avec la mise en place d'une ZFE-m ;

- l'obligation pour les collectivités concernées de justifier régulièrement du respect des valeurs limites, prévue par le projet de décret initial, n'est finalement pas conservée non plus dans le décret final. La réalisation de ce suivi était prévue lors de la mise à jour des Plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET).

Dans un communiqué conjoint publié le 17 septembre 2020, la ministre de la Transition écologique et le ministre délégué chargé des Transports avaient annoncé qu'en application du décret n°2020-1138, sept nouvelles ZFE-m devaient être mises en place en 2021 : Métropole d'Aix-Marseille-Provence, Métropole Nice-Côte d'Azur, Métropole Toulon-Provence-Méditerranée, Toulouse-Métropole, Montpellier-Méditerranée Métropole, Eurométropole de Strasbourg, Métropole Rouen-Normandie. Ces sept nouvelles ZFE-m s'ajoutaient aux quatre ZFE-m existantes : Métropole de Lyon, Grenoble-Alpes-Métropole, Ville de Paris, Métropole du Grand Paris.

Au 13 juin 2023, **11 métropoles avaient mis en place une ZFE-m** : Grand Paris, Lyon, Aix-Marseille, Toulouse, Nice, Montpellier, Strasbourg, Grenoble, Rouen, Reims et Saint-Étienne.

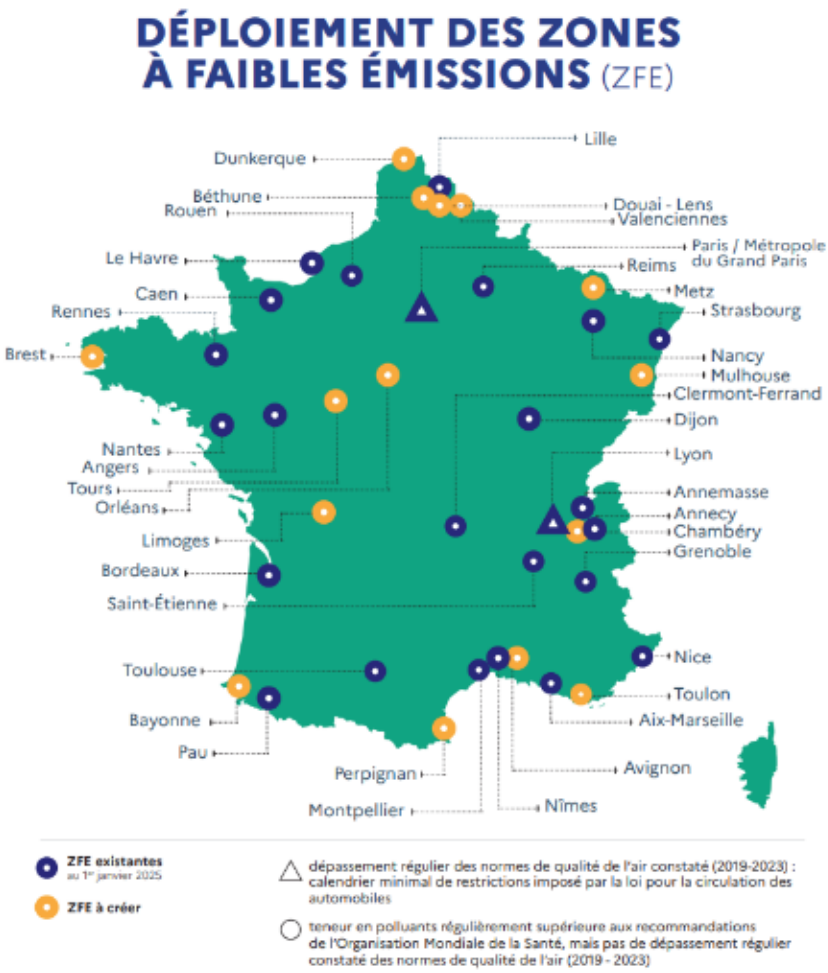
Enfin, la loi LOM prévoyait également le renforcement du covoiturage, le triplement des déplacements à vélo avant 2021 et le renforcement du volet air des PCAET.

Loi Climat et Résilience et ZFE

Dans le cadre de la loi n°2021-1104 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (dite loi Climat et Résilience), adoptée le 22 août 2021, l'article 119 rendait obligatoire la mise en place de ZFE-m pour les agglomérations de plus de 150 000 habitants d'ici au 31 décembre 2024. En complément, dans les métropoles qui enregistrent des dépassements réguliers des valeurs limites de qualité de l'air, étaient automatiquement prévues des interdictions de circulation pour les véhicules Crit'Air 5 en 2023, Crit'Air 4 en 2024 et Crit'Air 3 en 2025. Les autres agglomérations, qui ne sont pas en dépassement des valeurs limites de qualité de l'air, devaient fixer elles-mêmes les restrictions de circulation des véhicules les plus polluants afin de poursuivre l'amélioration de la qualité de l'air.

En outre, l'article 107 de la loi Climat et Résilience prévoyait l'expérimentation, à partir de 2023, d'un prêt à taux zéro pour aider les ménages modestes vivant à proximité des ZFE-m à changer de véhicule.

Au titre des dispositions en vigueur avant l'adoption de cette nouvelle loi, seules les 10 métropoles en situation de dépassement régulier des valeurs limites de qualité de l'air étaient obligées de mettre en place une ZFE-m. En revanche, la loi Climat et Résilience a étendu l'obligation s'appliquant aux agglomérations de plus de 100 000 habitants à toutes les agglomérations de plus de 150 000 habitants, soit la mise en place de 32 ZFE-m supplémentaires. Au 1er janvier 2025, le ministère de la Transition écologique recensait 25 ZFE (voir carte ci-dessous).



Source : ministère de la Transition écologique, mise à jour au 27 mai 2025. Lien.

Le décret n°2022-1641 du 23 décembre 2022 (JO du 24) est venu préciser les conditions d'instauration d'une ZFE-m dans les agglomérations de plus de 150 000 habitants. Il prévoit deux cas dans lesquels les agglomérations de plus de 150 000 habitants peuvent déroger à l'obligation d'instaurer une ZFE-m :

- si pendant trois des cinq dernières années, les concentrations moyennes annuelles de NO_2 sont inférieures ou égales à 10 µg/m^3 (soit la valeur guide annuelle de l'OMS pour ce polluant) sur l'ensemble des stations fixes de mesure de l'agglomération ou pour au moins 95% de la population de chaque commune de l'agglomération ;

- si l'agglomération démontre, au plus tard 18 mois avant l'échéance d'obligation d'instauration, que les actions mises en œuvre permettent de respecter la valeur guide annuelle de l'OMS pour les concentrations en NO_2 sur l'ensemble de l'agglomération ou pour au moins 95% de la population de chaque commune de l'agglomération, dans des délais équivalents à ceux prévus dans le cadre de la mise en place d'une ZFE-m.

Rapport du Comité de concertation sur les ZFE-m

À l'occasion du Comité ministériel sur la qualité de l'air en ville, le 10 juillet 2023, le comité de concertation sous la direction de Jean-Luc Moudenc et d'Anne-Marie Jean a remis au ministre de la Transition écologique son rapport *« Les Zones à Faibles Émissions : 25 propositions pour allier transition écologique et justice sociale »*. Ce rapport, relayé par l'association France urbaine (association des métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomération et grandes villes qui représente 2 000 communes de toutes tailles comptant au total près de 30 millions de Français), formulait 25 propositions, visant à allier trois enjeux : qualité de l'air et santé publique ; droit à la mobilité ; et justice sociale. Selon France urbaine, les ZFE-m permettront d'améliorer la qualité de l'air mais elles ne seront efficaces que si elles sont socialement justes et réellement acceptées sur les territoires.

Les **10 principales propositions** étaient les suivantes :

1. Rendre éligibles aux aides de l'État les habitants et les usagers des territoires voisins

impactés par la mise en place d'une ZFE, au même titre que ceux habitant sur les territoires de mise en œuvre d'une ZFE ;

2. Doubler les aides de l'État, notamment la prime à la conversion, et les compléter par des aides proposées par les territoires ;
3. Instaurer, avec l'intercommunalité comme pilote, un guichet unique dans le territoire en charge de la mise en œuvre de la ZFE pour permettre un accompagnement de proximité et simplifier les démarches pour les citoyens ;
4. Étendre et garantir le prêt à taux zéro et ajuster le microcrédit afin de rendre quasi systématique l'avance des aides par un organisme financier ou un tiers ;
5. Renforcer les alternatives de mobilité, y compris dans les territoires périurbains ;
6. Financer massivement les mobilités durables, notamment en déplafonnant les versements mobilité ;
7. Proposer une autorisation de circulation jusqu'en 2030 pour les véhicules Crit'Air 0, Crit'Air 1 et Crit'Air 2 pour les poids lourds et les véhicules utilitaires légers ;
8. Faciliter le leasing social ;
9. Instaurer des dérogations « petit-rouleur » ;
10. Faire évoluer la vignette Crit'Air afin que soit prise en compte la réalité des polluants atmosphériques et pas uniquement l'âge du véhicule.

Remise en question des ZFE-m et évolution du dispositif

La mise en place de ces 32 ZFE-m supplémentaires a suscité beaucoup de débats et d'inquiétudes, notamment quant à l'acceptabilité sociale du dispositif. Ainsi, à Rouen le 27 mars 2023, l'association "40 millions d'automobilistes" et la Fédération de la distribution automobile (FEDA) ont déposé un recours devant le tribunal administratif de la ville, contestant la légalité de l'arrêté, pris le 1er septembre 2022 par le président de la Métropole Rouen-Normandie, instituant une ZFE-m sur son territoire (arrêté n° EPMD 22.293).

Une mission flash au sein de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire de l'Assemblée nationale a été créée le 2 juillet 2022 pour examiner les mesures d'accompagnement de la création des ZFE-m et faire émerger des recommandations et des bonnes pratiques pour favoriser l'acceptabilité sociale d'un dispositif jugé nécessaire à l'amélioration de la qualité de l'air sur le territoire.

La mission a remis ses travaux le 12 octobre 2023. Elle a formulé une vingtaine de recommandations pour accompagner les ménages et les professionnels dans la transition, accélérer le déploiement des mobilités alternatives et garantir une mise en œuvre efficace dans les territoires.

La mission a surtout constaté un manque de lisibilité, de communication, d'information du dispositif, ainsi qu'un manque de dialogue et de concertation entre État et collectivités ou entre les collectivités elles-mêmes. La mission a souligné que le cadre législatif laisse aux métropoles une grande souplesse pour fixer le calendrier de mise en œuvre, les conditions d'accès aux ZFE-m (types de véhicules visés par les restrictions, périmètre géographique, dérogations), ainsi que les mesures d'accompagnement éventuelles (ciblage et niveau des aides financières notamment). Cette flexibilité, si elle est nécessaire pour adapter au mieux le dispositif aux spécificités des territoires, entraîne également de fortes disparités au niveau des réglementations et des calendriers d'application d'une métropole à une autre, ce qui nuit à la lisibilité d'une ZFE-m.

Pour renforcer le dialogue et améliorer la lisibilité et la cohérence des ZFE-m, la mission a notamment recommandé la mise en place d'un comité de suivi national des ZFE-m afin de piloter leur mise en œuvre, de remonter les problématiques communes des territoires et d'assurer des échanges de bonnes pratiques entre les collectivités.

Le premier comité ministériel sur les ZFE-m s'est déroulé le 25 octobre 2022. À cette occasion, de nouvelles mesures gouvernementales ont été annoncées afin d'accompagner au mieux les collectivités et les ménages dans le déploiement de ces zones, tant sur le plan logistique et technique que financier :

- la mise en place progressive d'un contrôle sanction automatisé afin de rendre effective la mise en œuvre des ZFE-m ;
- l'utilisation du fonds vert d'accélération de la transition écologique dans les territoires, qui sera mobilisé à hauteur de 150 millions d'euros, afin notamment de financer des études d'analyse préalable, des évaluations, ou encore des infrastructures ;

- la mise en place d'un comité de suivi avec les parties prenantes qui se réunira tous les six mois sous présidence interministérielle ;
- la désignation d'un interlocuteur unique des agglomérations, en charge des ZFE-m, qui fera le lien avec l'ensemble des ministères concernés.

Pour les habitants des ZFE-m, il était prévu que la prime à la conversation soit automatiquement renforcée de 1 000 euros lorsque le bénéficiaire habite ou travaille dans une ZFE-m. Par ailleurs, un prêt à taux zéro devait être proposé, à partir du 1er janvier 2023, pour deux ans d'expérimentation dans les métropoles en dépassement des seuils afin de financer l'acquisition de véhicules plus propres. Pour encourager l'acquisition de véhicules moins émetteurs en France, le bonus écologique devait passer à 7 000 euros pour les ménages aux revenus les plus modestes.

Le 13 janvier 2023, le MTE a annoncé le lancement du comité de suivi national (appelé désormais comité de concertation national sur les ZFE-m). Coordonné par plusieurs élus des métropoles concernées, ce comité réunit des représentants des collectivités territoriales, des associations, des entreprises et des artisans, des acteurs du transport routier et de l'État. Il vise à faciliter les échanges entre l'État (responsable du cadre national), les collectivités territoriales (qui mettent en œuvre les ZFE et en définissent les règles), ainsi que les usagers.

Après la mission flash de l'Assemblée nationale, le Sénat (Commission de l'aménagement du territoire et du développement durable), a lancé, à son tour, le 8 mars 2023, une mission d'information sur la mise en œuvre et l'acceptabilité sociale des ZFE-m, jugée très faible par plusieurs élus nationaux et locaux en constatant que *« les ZFE-m sont sources de vives inquiétudes et de lourdes incompréhensions »*, et en reprochant *« le manque de communication et de pédagogie sur le dispositif, l'insuffisance de l'offre alternative aux véhicules thermiques, le risque de creusement des inégalités sociales, voire de fractures territoriales »*.

Le 14 juin 2023, cette mission, dont le rapporteur était le sénateur Philippe Tabarot, a remis son rapport intitulé *« Zones à faibles émissions - mobilité (ZFE-m) : sortir de l'impasse »* formulant neuf propositions, dont la proposition n° 8 *« assouplir le calendrier de restrictions de circulation s'appliquant aux ZFE-m obligatoires pour le rendre plus réaliste »* :

- renforcer la progressivité des interdictions de circulation dans les ZFE-en repoussant au plus tard à 2030 l'entrée en vigueur des restrictions visant les véhicules légers classés Crit'Air 3,
- repousser du 31 décembre 2024 au 1er janvier 2030 la date limite de création d'une ZFE-m dans les agglomérations de plus de 150 000 habitants.

Pour mieux identifier les difficultés rencontrées par les riverains et les professionnels, mais aussi les bonnes pratiques, Philippe Tabarot avait souhaité recueillir le point de vue des principaux concernés, à travers une consultation en ligne. Cette consultation a recueilli 51 346 réponses complètes (de la part de professionnels et de particuliers), niveau de participation inédite, ce qui témoigne, selon le rapporteur, de la forte attention portée aux enjeux liés à la mise en œuvre des ZFE-m par les Français. Les réponses traduisaient notamment une très faible acceptabilité des ZFE pour les particuliers (86 % contre leur déploiement), comme pour les professionnels (79 % contre) ayant participé à la consultation.

Au terme du troisième comité ministériel sur la qualité de l'air en ville, qui s'est réuni le 19 mars 2024, le ministre de la Transition écologique Christophe Béchu avait souligné que la qualité de l'air en ville s'est améliorée ces 20 dernières années sous l'effet des actions menées, comme en témoigne la diminution forte des émissions de polluants (baisse de 62 % des émissions nationales de NOx depuis 2000) mais que les efforts doivent être poursuivis.

C'est pourquoi il avait été annoncé qu'au 1er janvier 2025, des restrictions de circulation seraient instaurées pour les véhicules les plus polluants dans toutes les agglomérations de plus de 150 000 habitants où les valeurs guides de qualité de l'air, recommandées par l'OMS, sont dépassées. Au total, 42 territoires étaient concernés : 40 territoires de vigilance et 2 territoires ZFE.

Vote en faveur de la suppression des ZFE-m

Mais le 26 mars 2025, *« contre l'avis du gouvernement »* les députés de la commission spéciale chargée du projet de loi de simplification de la vie économique ont voté en faveur de la suppression pure et simple des ZFE - m. En réponse, Agnès Pannier-Runacher, ministre de la Transition écologique, a organisé le 12 mai 2025 un ***« Roquelaure de la qualité de l'air »*** (du nom de l'hôtel de Roquelaure où se situe son cabinet) avec ses collègues François Rebsamen, ministre de l'Aménagement du territoire, et Yannick Neuder, ministre de la Santé. La ministre a rappelé que la pollution de l'air entraîne chaque année en France

40 000 décès précoces et 30 000 cas d'asthme chez les enfants. Elle a souligné que *« seules deux agglomérations »* font actuellement l'objet de restrictions de circulation, Paris et Lyon, ce qui signifie que seuls 650 000 véhicules sont concernés par les ZFE-m – et *« non pas »* 13 millions, un chiffre cité dans le rapport de Philippe Tabarot.

Déterminée à préserver le dispositif, et à titre de compromis, **le gouvernement a présenté en mai 2025 un amendement ciblant *« l'obligation de mise en place des ZFE sur les seules agglomérations en dépassement régulier des seuils règlementaires, Paris et Lyon »*.** Les élus des 40 autres agglomérations qui dépassent les valeurs guides de l'OMS, plus exigeantes que les seuils fixés par la directive européenne (UE)2024/2881 sur la qualité de l'air, resteraient libres de mettre en place de telles zones. Une période d'adaptation serait prévue jusqu'au 31 décembre 2026 pour laisser aux collectivités concernées la possibilité d'adapter le périmètre concerné aux réalités locales.

Mais, dans la nuit du 28 au 29 mai 2025, les députés ont refusé cet amendement et voté en faveur de la suppression pure et simple des ZFE par 98 voix pour, 51 voix contre et 6 abstentions. Concrètement, au terme du scrutin, l'article 15 *ter* du projet de loi de « simplification » de la vie économique - lui-même issu de deux amendements identiques de LR et du Rassemblement national - a été adopté. Ces amendements abrogent les articles du code général des collectivités territoriales autorisant ou imposant la création des ZFE, ainsi que le contrôle et la répression des infractions qui en relèvent, et suppriment plus généralement toute mention à ce dispositif dans le code des collectivités territoriales, dans celui de l'environnement et dans celui des transports. Mais la mesure encourt un risque de censure par le Conseil constitutionnel car il pourrait s'agir d'un cavalier législatif, éloigné sur le fond du texte initial.

56 agglomérations seraient en situation de dépassement des valeurs limites définies par l'OMS en 2030

En outre, de nouveaux efforts vont devoir être consentis pour respecter les nouvelles valeurs limites de concentration dans l'air ambiant qui s'appliqueront à partir de 2030. En accord avec les nouveaux seuils de référence définis par l'OMS, dits valeurs-guides, les normes européennes qui seront applicables à partir du 1er janvier 2030 ont été significativement renforcées avec des valeurs limites plus strictes par rapport aux règles actuelles, pour plusieurs polluants, dont les particules fines ($PM_{2,5}$, PM_{10}), le NO_2 (dioxyde d'azote) et le SO_2 (dioxyde de soufre). Pour les deux polluants ayant la plus forte incidence documentée sur la santé humaine, le $PM_{2,5}$ et le NO_2, les valeurs limites annuelles doivent être réduites de plus de moitié, et passer respectivement de 25 µg/m^3 à 10 µg/m^3 et de 40 µg/m^3 à 20 µg/m^3. D'ici à 2050, elles devront s'aligner sur une valeur plus contraignante telle que recommandée par l'OMS.

Or au vu de ces nouvelles normes, ce ne sont plus, en France hexagonale, cinq agglomérations comme en 2023 mais 56 agglomérations qui seraient en situation de dépassement des valeurs règlementaires applicables en 2030. En effet, si on applique les valeurs limites de concentration définies à l'échéance 2030 par la directive européenne à la situation actuelle, le nombre d'agglomérations en dépassement en France hexagonale passerait selon le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA)

- de 3 en 2023 à 38 en 2030 pour le NO_2 (dioxyde d'azote),
- de 2 en 2023 à 19 en 2030 pour les PM_{10} (particules de diamètre inférieur à 10 µm),
- et de 0 en 2023 à 18 en 2030 pour les $PM_{2,5}$ (particules fines, inférieures à 2,5 µm).

Dès lors et de manière globale, en agrégeant ces trois polluants, le nombre d'agglomérations en situation de dépassement passerait de 5 en 2023 à 56 en 2030 en l'état actuel des concentrations qui y sont mesurées, autrement dit sans compter les effets des politiques publiques de réduction d'émissions qui pourront être mises en place d'ici à cette échéance.

Prêt à taux zéro mobilité

En application de l'article 107 de la loi Climat et Résilience, le décret n°2022-615 du 22 avril 2023 (JO du 24) a établi les modalités de mise en œuvre de l'expérimentation d'un prêt à taux zéro pour l'acquisition de véhicules peu polluants dans certaines zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m) en définissant le périmètre géographique et les conditions d'éligibilité applicables aux bénéficiaires et aux véhicules.

Instauré à partir du 1er janvier 2023 pour deux ans d'expérimentation, ce prêt à taux zéro mobilité (PTZ-m) avait pour objectif de financer l'acquisition de véhicules plus propres. Sont concernées par le PTZ-m les voitures et camionnettes de moins de 2,6 t dont les émissions de CO_2 sont inférieures ou égales à 50 gCO_2/km. Les particuliers ainsi que les microentreprises étaient éligibles à ce prêt sous conditions de ressources. Pour en bénéficier, il fallait justifier d'un lieu de résidence ou d'une activité professionnelle dans une intercommunalité dont une partie du territoire est située dans une ZFE-m en

dépassement régulier des normes de qualité de l'air, ou dans une intercommunalité limitrophe de cette dernière.

L'article 65 de la loi n°2022-1726 de finances pour 2023 a élargi le champ d'application du PTZ-m à la transformation de véhicules à motorisation thermique en véhicules à motorisation électrique (rétrofit électrique). En conséquence, le décret n°2023-330 du 2 mai 2023 (JO du 3) était venu modifier le décret n°2022-615 du 22 avril 2022 relatif à l'expérimentation du PTZ-m et ce, afin de préciser les modalités de mise en œuvre du dispositif dans le cas d'une opération de rétrofit électrique.

Ce dispositif expérimental est en théorie disponible jusqu'au 31 décembre 2025 via des établissements financiers conventionnés sachant que pour pouvoir proposer des prêts à taux zéro mobilité, les établissements de crédit et les sociétés de financement doivent préalablement signer une convention avec l'État. **Mais au 21 mai 2025, aucun établissement de crédit ou société de financement n'avait signé de convention selon le centre de documentation Économie Finances.**

Plan National Santé Environnement (PNSE)

PNSE-1 (2004)

Le premier Plan national Santé Environnement (PNSE), réalisé conjointement par quatre ministères (Santé, Écologie et Développement durable, Emploi, Recherche), a été publié le 21 juin 2004. Le PNSE 1, qui couvrait la période 2004-2008, fixait trois objectifs prioritaires :

- garantir un air et une eau de bonne qualité,
- prévenir les pathologies d'origine environnementale,
- mieux informer le public et protéger les populations sensibles.

Tous milieux de vie confondus, le PNSE-1 comportait 45 actions, dont 12 prioritaires. Ces actions étaient de trois types : des actions nouvelles, des actions déjà prévues dans d'autres plans ou programmes nationaux et qui sont en cours de mise en œuvre, et enfin des actions envisageables mais non encore concrétisées.

Parmi les actions prioritaires prévues, quatre portaient sur la pollution de l'air :

- n° 4) : réduire les émissions de particules Diesel par les sources mobiles,
- n° 7) : réduire les émissions aériennes de substances toxiques d'origine industrielle,
- n° 14) : mieux connaître les déterminants de la qualité de l'air intérieur et renforcer la législation,
- n° 15) : mettre en place un étiquetage des caractéristiques sanitaires et environnementales des matériaux de construction.

Par ailleurs, cinq autres actions concernaient directement ou indirectement la lutte contre la pollution de l'air :

- n° 8) : réduire les émissions de NOx des installations industrielles,
- n° 9) : réduire les émissions du secteur résidentiel-tertiaire,
- n° 2) : réduire de 30 % la mortalité par intoxication au CO,
- n° 5) : promouvoir les modes de déplacements alternatifs,
- n° 6) : mieux prendre en compte l'impact sur la santé dans les projets d'infrastructure de transport.

PNSE-2

Le deuxième Plan national santé environnement (PNSE), rendu public le 10 juillet 2009 a décliné les engagements du Grenelle de l'environnement en matière de santé environnement. Il a décrit les actions à mener sur la période 2009-2013.

Les principales mesures concernant les émissions dans l'air du PNSE 2 étaient les suivantes :

Réduction de certaines substances

- réduire les concentrations dans l'air ambiant des $PM_{2,5}$ de 30 % d'ici 2015. Cette mesure fait l'objet d'un plan d'actions national : le "Plan particules".

  L'atteinte de cet objectif passe par la mise en œuvre d'actions qui sont les suivantes :

  - réduire les émissions de particules du secteur domestique en stimulant en particulier la mise sur le marché d'appareils moins polluants et sensibiliser les usagers et les professionnels aux émissions induites par les foyers ouverts et les feux de jardin,

- diminuer les émissions de particules des installations industrielles et agricoles en renforçant la réglementation des installations de combustion et en réduisant les émissions de NH_3 (précurseur de $PM_{2,5}$) du secteur agricole,
- mieux réguler la mobilité et réduire les émissions unitaires de chaque mode de transport, en développant par exemple le co-voiturage et en réduisant les émissions des véhicules routiers à la source ainsi que celles des engins de chantier, des navires, des bateaux et des avions,
- améliorer la connaissance sur les particules.

- réduire de 30 % à l'horizon 2013, les émissions dans l'air de six substances : arsenic, mercure, HAP, benzène, perchloroéthylène et PCB/dioxines.

  Ces mesures s'inscrivaient dans le cadre des actions nationales annuelles de l'inspection de 2010 à 2013 (modification de la réglementation sur les crématoriums, révision de la réglementation sur les piles/accumulateurs, etc.).

PNSE 3

Le troisième Plan national santé environnement (PNSE 3) présenté le 12 novembre 2014 en Conseil des ministres couvrait la période 2015-2019 et comme le PNSE 2 (2009-2013), il a été décliné dans chaque région. Ce Plan visait à réduire les impacts des facteurs environnementaux sur la santé. Sur les 107 actions prévues au total par le PNSE 3, cinq (n°29, n°50 à n°52 et n°83) visaient directement à améliorer la qualité de l'air :

- élaborer, d'ici fin 2015, un nouveau programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) ayant un impact sur la santé et le climat ;
- réduire les émissions provenant des secteurs résidentiel [incitation au renouvellement des installations de chauffage au bois] et agricole (actions sur certaines techniques d'épandage et de stockage d'effluents d'élevage fortement émettrices de NH_3 et, dans une moindre mesure, actions sur les techniques de labour des sols et de récoltes, émettrices de particules primaires) ;
- améliorer les connaissances sur la qualité de l'air à différentes échelles spatio-temporelles [approches géo-climatiques, métrologiques, modélisation], et sur la caractérisation chimique des particules (via le programme de recherche PRIMEQUAL) ;
- définir une liste de 10 à 20 pesticides à mesurer dans l'air, formaliser d'ici fin 2015 un protocole de surveillance et lancer une campagne exploratoire nationale de mesure sur 2015-16, avec des AASQA volontaires ;
- soutenir et pérenniser les programmes de recherche PRIMEQUAL, AACT-AIR et CORTEA.

PNSE-4

À l'occasion des Rencontres nationales Santé-Environnement, les 14-15 janvier 2019 à Bordeaux, les ministres de la Transition écologique et de la Santé ont lancé les travaux d'élaboration du 4e PNSE.

Quatre priorités étaient fixées :

- améliorer les connaissances relatives aux expositions et aux effets environnementaux sur la santé,
- réduire les expositions et les inégalités environnementales,
- informer et sensibiliser la population et former les professionnels,
- renforcer les actions concrètes menées dans les collectivités territoriales.

Après la phase de mise en consultation, fin 2020, du projet initial de PNSE-4, la publication du plan final a été retardée pour pouvoir prendre en compte le retour d'expérience de la pandémie de Covid-19, crise qui a souligné le lien entre santé et environnement. Le PNSE-4 a été publié le 7 mai 2021.

Le PNSE-4 a couvert la période **2020-2024**. Il listait **20 actions** rassemblées dans **quatre axes prioritaires** :

- S'informer de l'état de son environnement et les bons gestes à adopter ;
  - Dont l'action n°1 « *connaître l'état de l'environnement à côté de chez soi et les bonnes pratiques à adopter* » qui vise notamment à faciliter les outils d'accès aux données environnementales quotidiennes telle que la qualité de l'air.
- Réduire les expositions environnementales affectant notre santé et celle des écosystèmes ;
  - Dont l'action n°14 : « *améliorer la qualité de l'air intérieur au-delà des actions à la source sur les produits ménagers et les biocides* » notamment via une deuxième campagne de mesure de l'observatoire de qualité de l'air intérieure (en 2020-2023 après celle de 2003-2005) ; via l'amélioration de la formation des

acteurs du bâtiment ; via l'intégration d'informations sur les conditions d'aération et de ventilation dans les diagnostics de performance énergétique des bâtiments ; via l'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air dans les transports en commun souterrains, etc.

- Démultiplier les actions concrètes menées dans les territoires, en mobilisant les collectivités ;
  - Dont l'action n°16 « *créer une plateforme collaborative pour les collectivités sur les actions en santé environnement et renforcer les moyens des territoires pour réduire les inégalités territoriales en santé environnement* » qui vise notamment à mettre en place un espace de partage des démarches des collectivités territoriales en santé environnement, via une nouvelle plateforme en ligne pilotée par le Cerema.
- Mieux connaître les expositions et les effets de l'environnement sur la santé des populations et des écosystèmes ;
  - Dont l'action 18 : « *créer un* Green Data *for Health* », soit une plateforme rassemblant des données environnementales (exposition aux substances chimiques, au bruit, aux ondes, à la radioactivité, à la lumière artificielle…) pour en faciliter l'accès pour le public et pour faciliter les croisements de données environnementales et sanitaires afin de faire progresser la recherche et la connaissance. Les premiers développements de cas d'usage sont attendus pour 2022.

Dont l'action 19 : « Structurer et renforcer la recherche sur l'exposome [exposition tout au long de la vie d'un individu] et mieux connaitre les maladies liées aux atteintes à l'environnement ».

Les arrêts du Conseil d'État concernant la qualité de l'air

Premier arrêt du Conseil d'État : 2017

Le 12 juillet 2017, le Conseil d'État, la plus haute juridiction administrative publique française, statuant au contentieux après avoir été saisi par l'association les Amis de la Terre-France et d'autres ONG, avait enjoint, par un arrêt, au Gouvernement de prendre toutes les mesures nécessaires pour que soient élaborés et mis en œuvre, pour 17 zones dans lesquelles les valeurs limites de concentration (VLC) de NO_2 et de PM_{10} étaient encore dépassées en 2015, des plans "qualité de l'air". Objectif, ramener ces concentrations en dessous des VLC fixées par la directive 2008/50/CE sur la qualité de l'air et ce, avant le 31 mars 2018. Les mesures mises en place, comme les Plans de protection de l'Atmosphère (PPA), étaient insuffisantes pour y parvenir.

Deuxième arrêt du Conseil d'État : 2020

Après avoir constaté que le Gouvernement n'avait toujours pas pris les mesures permettant de respecter les VLC applicables au NO_2 et aux PM_{10} dans huit de ces 17 zones (Grenoble, Lyon, Marseille-Aix, Reims, Strasbourg et Toulouse pour le NO_2, Fort-de-France pour les PM_{10}, et Paris pour le NO_2 et les PM_{10}) le Conseil d'État lui a enjoint, par une deuxième décision en date du 10 juillet 2020, d'agir dans un nouveau délai de six mois, sous peine d'une astreinte (amende) de 10 M€ par semestre de retard (soit plus de 54 000 € par jour). La décision précisait que ce montant, le plus élevé jamais imposé par une juridiction administrative française pour contraindre l'État à exécuter une décision prise, pourrait être révisé par la suite, y compris à la hausse, si la décision de 2017 n'était toujours pas pleinement exécutée.

Le 11 janvier 2021, soit le lendemain de l'échéance imposée par sa décision du 10 juillet 2020 au Gouvernement, l'instance avait demandé à la ministre de la Transition écologique de porter à sa connaissance les mesures prises pour assurer l'exécution de cette décision. Le MTE lui a transmis le 26 janvier 2021 un mémoire précisant les mesures prises depuis juillet 2020 pour améliorer la qualité de l'air dans les zones visées et sur le territoire national en général. De leur côté, également par un mémoire remis le 25 mars 2021, l'association Les Amis de la Terre-France et les autres ONG requérantes lui avaient notamment demandé de constater que ses décisions du 12 juillet 2017 et du 10 juillet 2020 n'avaient pas été pleinement exécutées.

Troisième arrêt du Conseil d'État : 2021

Le 4 août 2021, dans une troisième décision, intervenue après plus de 10 ans d'avertissements de la Commission européenne et la condamnation de la France, en 2019, par la Cour de Justice de l'Union européenne pour non-respect de la directive 2008/50/CE relative à la qualité de l'air ambiant, - et plus spécifiquement pour « *dépassement de manière systématique et persistant* » des valeurs limites de concentration (VLC) pour le NO_2, le Conseil d'État a condamné l'État à payer une astreinte de 10 M€ pour le premier semestre 2021 (soit plus de 54 000 € par jour). L'instance estimait qu'à nouveau les mesures prises pour améliorer la qualité de l'air dans les zones en dépassement des VLC du NO_2 et des PM_{10} n'étaient pas suffisantes pour considérer que la décision du 12 juillet 2017 était intégralement exécutée.

L'ensemble des mesures mises en avant par le MTE étaient de nature à favoriser l'amélioration de la

situation. Toutefois, les incertitudes entourant l'adoption ou les conditions de mise en œuvre de certaines d'entre elles, ainsi que l'absence d'évaluation fiable de leurs effets dans les zones concernées, ne permettaient pas de considérer qu'elles seraient de nature à mettre un terme aux dépassements encore constatés ou de consolider la situation de non-dépassement dans cinq zones Lyon, Paris, Aix-Marseille, Grenoble et Toulouse pour les taux de concentration en NO_2, et à Paris pour les taux de concentration en PM_{10}, dans un délai qui puisse être considéré comme le plus court possible. Il résultait donc que l'État ne pouvait être jugé comme ayant pris des mesures suffisantes pour assurer l'exécution complète dans ces zones des décisions des 12 juillet 2017 et du 10 juillet 2020.

Quatrième arrêt du Conseil d'État : 2022

Le 17 octobre 2022, le Conseil d'État a condamné l'État français à payer l'astreinte décidée par la décision du 10 juillet 2020, soit un montant total de 20 M€ (plus de 54 000 € par jour). L'instance a en effet constaté que les mesures prises par le Gouvernement pour améliorer la qualité de l'air dans les zones en dépassement des VLC du NO_2 n'étaient pas suffisantes pour considérer les deux décisions du 12 juillet 2017 et du 20 juillet 2020 comme intégralement exécutées.

De fait, les chiffres en termes de concentrations de NO_2 et des PM_{10} montraient que la situation s'était globalement améliorée mais qu'elle restait fragile ou mauvaise dans quatre zones (Toulouse, Paris, Lyon, Aix-Marseille). Ainsi la zone de **Toulouse** affichait une concentration moyenne annuelle de NO_2 de 38 µg/m^3 relevée dans une station de mesure, soit un niveau légèrement en dessous de la valeur limite mais en hausse par rapport à 2020. Pour les zones de **Paris**, **Lyon** et **Aix-Marseille**, si la moyenne annuelle de concentration en NO_2 avait globalement diminué en 2021 par rapport à 2019, la valeur limite de concentration de 40 µg/m^3 avait été dépassée pendant la période considérée dans sept stations de mesure de la zone de Paris et dans une station de mesure des zones de Lyon et de Marseille.

Cinquième arrêt du Conseil d'État : 2023

Après analyse des nouveaux éléments transmis par la ministre de la Transition écologique et suivant les conclusions du rapporteur public, dans un 5^e arrêt rendu le 24 novembre 2023, le Conseil d'État a condamné l'État français à payer deux astreintes, minorées cette fois par rapport à celles fixées par la décision du 10 juillet 2020, soit 5 M€ pour le second semestre 2022 et 5 M€ pour le premier semestre 2023 pour un montant total de 10 M€.

Les valeurs limites de concentration (VLC), fixées pour le NO_2 par la directive 2008/50/CE (*annexe XI*) et transposées en droit français à l'article R. 221-1 du Code de l'Environnement, restaient en effet dépassées de manière significative dans les zones urbaines de Paris et Lyon. En outre, les mesures de réduction des émissions de NOx déjà prises ou prévues dans ces deux zones ne permettraient pas de ramener les concentrations de NO_2 en dessous des VLC dans les délais les plus courts possibles.

L'instance concluait que sa décision du 12 juillet 2017 était exécutée en ce qui concerne les dépassements des VLC pour les PM_{10} et, en ce qui concerne le NO_2, pour toutes les zones énumérées par la décision du 10 juillet 2020 **- à l'exception de celles de Paris et de Lyon.**

Sixième arrêt du Conseil d'État : 2025

Les Amis de la Terre, accompagnés de plusieurs dizaines d'autres associations, avaient demandé, en septembre 2024, au Conseil d'État de constater que ses décisions de 2017 et 2020 n'étaient pas pleinement exécutées et de condamner l'État français à payer une nouvelle astreinte de 20 M€ pour la période courant du 13 juillet 2023 au 13 juillet 2024.

Le Conseil d'État a étudié l'évolution des concentrations en dioxyde d'azote dans les deux zones restant en litige et examiné, en cas de dépassement persistant, si les mesures adoptées étaient de nature à ramener les concentrations en-deçà des valeurs limites dans le délai le plus court possible. Au terme de leur instruction, les magistrats administratifs ont considéré cette fois qu'une nouvelle astreinte financière n'était pas justifiée au regard des mesures prises et de l'amélioration constante de la qualité de l'air.

Dans un communiqué de presse publié le 25 avril 2025 portant sur ce contentieux ouvert le 12 juillet 2017 en matière de pollution de l'air et intitulé *« Qualité de l'air : le Conseil d'État constate que les mesures prises pour respecter les seuils de pollution ont porté leurs fruits »*, la Haute Juridiction a précisé que « *Après l'avoir condamné à plusieurs astreintes, le Conseil d'État juge aujourd'hui que l'État [français] a mis en place les actions nécessaires pour améliorer la qualité de l'air en France et exécuté sa décision de justice de 2017 dans sa totalité. Plus aucune zone [urbaine] ne dépasse les seuils de pollution aux particules fines (PM_{10}) et le seuil de pollution au dioxyde d'azote (NO_2) est quasiment respecté à Lyon et proche de l'être à Paris.* »

Plans d'actions sectoriels

Réduction des émissions agricoles d'ammoniac (NH_3)

Trajectoires annuelles de réduction des émissions d'ammoniac

L'article 268-I de la loi Climat et Résilience prévoit la définition, par décret, des trajectoires annuelles de réduction des émissions d'ammoniac (NH_3) du secteur agricole jusqu'en 2030 permettant d'atteindre progressivement l'objectif d'une réduction de 13% des émissions de NH_3 en 2030 par rapport à 2005. Cet objectif est celui fixé pour la France par la directive dite NEC 2 (directive (UE) 2016/2284 fixant les plafonds nationaux d'émissions pour cinq polluants dont le NH_3).

Le décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 (publié au JO du 27) est venu définir les trajectoires annuelles de réduction des émissions de NH_3 du secteur agricole jusqu'en 2030.

Les émissions de NH_3, en 2023, étaient dues à 96% au secteur agricole.

Les objectifs annuels de réduction des émissions de NH_3 du secteur agricole par rapport à 2005 sont définis dans le tableau suivant, exprimés en pourcentage de réduction par rapport aux émissions de l'année 2005 :

Ammoniac (NH3)	2005	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
émissions historiques (kt NH3 / an)	653	530	527							
objectif de réduction en % par rapport à 2005		5,5%	6,4%	7,3%	8,3%	9,2%	10,2%	11,1%	12,1%	13,0%
objectif d'émissions à ne pas dépasser en kt NH3		617	611	605	599	593	586	581	574	568

Objectifs de réduction des émissions agricoles de NH3. Source : décret n°2022-1654, article 3 et Citepa, rapport Secten éd. 2025.

Ces objectifs ont été définis en cohérence avec le PREPA, lui-même en cohérence avec les plafonds de la directive NEC 2.

L'atteinte des objectifs est évaluée à l'aune des données définitives issues des inventaires nationaux d'émissions les plus récents, réalisés par le Citepa pour le MTE.

L'article 268-I de la loi Climat et Résilience prévoit également la présentation au Parlement d'un rapport consacré au suivi du plan d'action national (prévu par l'article L. 255-1-1 du Code rural et de la pêche maritime, en vue de la réduction des émissions de NH_3 et de N_2O liées aux usages d'engrais azotés minéraux) et le suivi du respect de la trajectoire de réduction des émissions de NH_3 et de N_2O du secteur agricole.

► Voir le détail de l'atteinte de ces objectifs dans la section Ammoniac (NH_3).

Réduction des émissions de particules du chauffage au bois

Le plan d'action pour réduire les émissions de $PM_{2,5}$ du chauffage domestique au bois

Après avoir mené une consultation publique entre le 9 et le 30 avril 2021 sur un plan d'action sur le chauffage au bois initialement présenté le 14 avril 2021, le MTE a publié, le 23 juillet 2021 la version définitive du document. Celui-ci s'appuie largement sur les données d'émission de polluants atmosphériques élaborées par le Citepa pour le MTE dans le cadre du système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère (Snieba). Le plan d'actions vise à atteindre **entre 2020 et 2030**, d'une part, **une baisse de plus de 30%** des émissions annuelles de $PM_{2,5}$ issues du chauffage au bois à l'échelle nationale et, d'autre part, une **baisse de 50%** de ces émissions dans les territoires les plus pollués (dans les zones dites PPA [Plans de protection de l'atmosphère]), en favorisant l'utilisation d'équipements performants et de combustible de qualité.

Le plan d'action est structuré en **deux parties** : un **état des lieux** (l'enjeu sanitaire majeur de la réglementation du recours au chauffage au bois et les leviers existants en France pour favoriser l'utilisation d'équipements performants), et une **feuille de route** composée de **six axes** comportant chacun des actions concrètes à mettre en œuvre. Les six axes sont les suivants :

I) Sensibiliser le grand public à l'impact sur la qualité de l'air du chauffage au bois avec des appareils peu performants

Action 1-A) : organiser une campagne de communication hivernale annuelle nationale pour inciter les usagers à utiliser des appareils performants et à adopter des pratiques d'utilisation moins émettrices ;

Action 1-B) : lors des ramonages annuels obligatoires, intégrer une obligation de transmission d'information

sur les bons usages de l'appareil de chauffage au bois individuel, ainsi que sur les aides au remplacement ;

Action 1-C) : inclure des informations et recommandations sur les équipements de chauffage au bois dans le diagnostic de performance énergétique (DPE) d'un logement.

II) Renforcer et simplifier les dispositifs d'accompagnement pour accélérer le renouvellement des appareils de chauffage au bois

Objectif phare du plan d'action : accélérer le renouvellement des vieux appareils de chauffage au bois domestiques. Sur la période 2021-2025, l'objectif est de remplacer de 600 000 appareils non performants via l'installation de poêles à bûches ou granulés performants (100 000 par an) et l'installation d'insert dans les foyers ouverts (20 000 par an).

Ce rythme de remplacement des appareils devrait permettre *in fine* une diminution de 6 000 t d'émissions annuelles de $PM_{2.5}$, soit une baisse de 12% des émissions annuelles du secteur du chauffage au bois par rapport à 2020.

Action 2-A) : abonder les fonds air bois existants pour les maintenir au moins jusqu'en 2026 en accord avec les collectivités volontaires ;

Action 2-B) : permettre de bénéficier des aides du fonds air bois, des certificats d'économies d'énergie et du dispositif MaPrimeRenov' dès la facturation du nouvel équipement ;

Action 2-C) : créer une plateforme de référence permettant un accès centralisé aux informations utiles pour remplacer un appareil domestique de chauffage au bois.

III) Améliorer la performance des nouveaux équipements de chauffage au bois

Action 3-A) : faire évoluer le label Flamme verte avec les progrès technologiques, et inciter à la mise en place d'une certification des appareils ;

Action 3-B) : poursuivre le travail sur la performance des nouveaux équipements.

IV) Promouvoir l'utilisation d'un combustible de qualité

Le marché formel de la bûche représente aujourd'hui uniquement 20 % des bûches utilisées en France. L'objectif est de structurer ce marché formel pour qu'il représente d'ici 2030 40 % des utilisations annuelles, dont 50 % est un combustible labellisé (*cf. action 4-B*).

Sur la période 2020-2030, l'augmentation de l'utilisation de combustible labellisé doit permettre de réduire de 7 000 t les émissions de $PM_{2,5}$, soit une baisse de 14% des émissions annuelles du chauffage au bois par rapport à 2020.

Action 4-A) : généraliser l'offre de bois de bonne qualité et aboutir à un label commun ;

Action 4-B) : réglementer la qualité du bois de chauffage mise sur le marché.

V) Encadrer le chauffage au bois dans chaque zone PPA, en prenant des mesures adaptées aux territoires pour réduire les émissions de particules fines

Objectif phare du plan d'action : réduire de 50 % les émissions de particules fines issues du chauffage au bois dans les territoires les plus pollués

Les mesures nationales prévues dans les axes 1 à 4 doivent permettre d'atteindre entre 2020 et 2030 une baisse de plus de 30% des émissions annuelles de $PM_{2,5}$ issues du chauffage au bois à l'échelle nationale. Des mesures supplémentaires et adaptées aux spécificités territoriales dans les zones couvertes par un plan de protection de l'atmosphère, zones particulièrement sensibles au regard de la qualité de l'air, permettraient d'atteindre une baisse de 50%.

VI) Améliorer les connaissances sur l'impact sanitaire des particules issues de la combustion du bois.

Loi Climat et Résilience et chauffage au bois

L'article 186 de la loi Climat et Résilience fixe formellement l'objectif de baisse de 50 % des émissions de particules fines issues du chauffage au bois entre 2020 et 2030 dans les territoires couverts par un plan de protection de l'atmosphère (PPA). Le plan d'action chauffage au bois domestique performant permettra de mettre en œuvre cet objectif en accélérant le renouvellement des vieux poêles et des vieilles cheminées au profit d'équipements performants, en développant l'utilisation de combustibles de qualité et en rappelant les bonnes pratiques d'utilisation des appareils.

En application de cet article et du plan d'action, un décret (n°2022-446) et un arrêté du 30 mars 2022 (JO du 31) visent à améliorer la qualité du combustible solide en bois (bûches, plaquettes et granulés [ou *pellets*]) à utiliser pour le chauffage dans le secteur résidentiel. Ce décret définit les éléments d'informations à fournir *a minima* aux utilisateurs non professionnels par les distributeurs de combustibles solides issus de la biomasse et destinés au chauffage. Quant à l'arrêté, il fixe des critères techniques auxquels doivent répondre certaines catégories de combustibles solides pour leur mise sur le marché. Les dispositions de ces deux nouveaux textes sont entrées en vigueur le 1er septembre 2022.

Nouvel indice de la qualité de l'air

Un arrêté ministériel du 10 juillet 2020 (JO du 29) définit le nouvel indice de la qualité de l'air ambiant (dit indice Atmo) et fixe les modalités de calcul de celui-ci. L'arrêté précise que l'indice est un outil de communication qui permet de fournir une information synthétique sous une forme simple (couleur, qualificatif) sur le niveau de la pollution de l'air ambiant, en agrégeant des données de concentrations mesurées ou modélisées, de plusieurs polluants atmosphériques au sein d'un établissement public de coopération intercommunale.

L'indice, officiellement appelé indice Atmo, est calculé pour une journée et pour une zone géographique représentative. Il couvre l'ensemble du territoire et non plus uniquement les agglomérations de plus de 100 000 habitants.

Les modalités techniques de calcul sont les suivantes :

- l'indice est le résultat agrégé de la surveillance de cinq polluants atmosphériques : SO_2, NO_2, O_3, PM_{10} et **$PM_{2,5}$**, ce dernier polluant ayant été ajouté aux quatre autres par l'arrêté ;
- la mesure ou la modélisation des concentrations dans l'air ambiant représentatives d'une situation de fond pour les cinq polluants entrant dans le calcul des **sous-indices** est réalisée conformément aux dispositions fixées par l'arrêté du 19 avril 2017 ;
- l'indice caractérisant la qualité de l'air globale de la journée considérée est égal au sous-indice le plus dégradé ;
- la zone géographique représentative sur laquelle l'indice ATMO est calculé est déterminée par les AASQA. Elles s'assurent que l'agrégation spatiale des concentrations du polluant mesurées ou modélisées est représentative de la qualité de l'air dans cette zone en situation de fond.

L'arrêté définit un **système de six qualificatifs et de codes couleur** qui sont associés aux sous-indices précités :

Qualificatifs	Couleur
Bon	**Bleu**
Moyen	**Vert**
Dégradé	**Jaune**
Mauvais	**Rouge**
Très mauvais	**Pourpre**
Extrêmement mauvais	**Magenta**

Le nouvel indice Atmo s'applique depuis le 1er janvier 2021 et n'a pas pour le moment fait l'objet d'une mise à jour.

► Atteinte des objectifs en France

Pour une vue d'ensemble de la situation de la France vis-à-vis des objectifs nationaux de réduction d'émissions, voir l'annexe *CCNUCC et CEENU* et les sections relatives à chaque substance visée

Acidifiants, eutrophisants et polluants photochimiques

Phénomènes associés

Acidification et eutrophisation

La **pollution acide** est liée aux émissions de SO_2, NOx, mais aussi celles de NH_3 provenant des activités humaines, qui retombent en partie à proximité des sources mais aussi à des centaines, voire des milliers de kilomètres (la durée de vie du SO_2 dans l'atmosphère est de l'ordre de 2 à 5 jours) de leurs sources émettrices. L'acidité d'un milieu (sol ou eau de surface par exemple) est causée par la présence de protons dont le caractère chimique leur permet d'intervenir dans de nombreuses réactions, en favorisant certaines, en empêchant d'autres. Leur présence en large quantité rend un milieu acide, ce qui se traduit par un faible pH. L'échelle de pH varie entre 0 et 14. Un milieu aqueux dont l'acidité augmente (et le pH diminue) a tendance à devenir oxydant, et au-delà d'un certain seuil d'acidité, de moins en moins propice au développement d'organismes vivants. Un milieu est dit neutre si son pH est égal à 7. Le monde terrestre (les sols, les cours d'eaux et les pluies) est un milieu naturellement acide. Le pH de la pluie dans une atmosphère non polluée est de l'ordre de 5,5. Dans les zones non polluées, sous les latitudes de l'Europe, les sols et les eaux de surface ont des pH habituellement compris entre 3 et 8. Les tourbières, par exemple, sont naturellement acides et les pH qu'on y mesure pour les sols et les eaux sont naturellement de l'ordre de 3 ou 4. Les sols les plus basiques, avec des pH autour de 8, sont les sols calcaires que l'on trouve par exemple dans le sud de la France. Les océans pour leur part, sont plutôt basiques puisque leurs eaux ont un pH proche de 8 (Ineris, 2004).

L'**eutrophisation** est principalement liée aux dépôts d'azote provenant des émissions de NOx et de NH_3. L'eutrophisation est un phénomène qui a d'abord été décrit pour les eaux de surface et les eaux côtières. Il correspond à une augmentation de la productivité des algues suivie de leur dégradation qui conduit à une désoxygénation partielle ou totale du milieu. C'est un phénomène naturel (que l'on trouve par exemple dans les lacs) correspondant au vieillissement du milieu. Il est toutefois accéléré par les rejets anthropiques de nutriments (et surtout de phosphore). L'apport de nutriments accroît la productivité du milieu et perturbe les cycles géochimiques naturels, particulièrement en augmentant la demande en oxygène et en modifiant les flux de nutriments. La modification des cycles de nutriments provoque des changements des structures des peuplements phytoplanctoniques, et par suite, des changements des espèces zooplanctoniques.

Le concept de l'eutrophisation des eaux a été étendu aux écosystèmes terrestres. L'eutrophisation des milieux terrestres est généralement déclenchée par des apports excédentaires d'azote et par son accumulation dans l'écosystème. La production primaire augmente alors et la flore est modifiée au profit d'espèces nitrophiles, c'est-à-dire qui poussent préférentiellement dans les milieux riches en azote. Ces espèces nitrophiles deviennent dominantes car, utilisant efficacement les ressources en azote, elles ont des taux de croissances supérieurs aux autres plantes et occupent donc progressivement l'espace et la lumière disponibles. À terme, on peut observer une disparition d'espèces adaptées à de faibles concentrations de nutriments dans les sols et donc à une baisse de la biodiversité (Ineris, 2004).

Ces polluants se transforment et retombent sous forme de dépôts secs ou humides. SO_2 et NOx se transforment respectivement en sulfates et en nitrates ainsi qu'en acide sulfurique et en acide nitrique selon les conditions. Le NH_3, émis principalement par les activités agricoles, se transforme aussi en ammonium. Il contribue également à l'acidification des milieux. Son potentiel d'acidification est équivalent à celui des NOx.

Les retombées d'azote issues des émissions de NO_x et NH_3 conduisent à trop enrichir les milieux et à en modifier les équilibres chimiques.

L'acidification de l'atmosphère est connue depuis très longtemps dans les zones urbaines et/ou industrielles sous le nom de "smog acide" (ou smog londonien). Ce type de smog tend à disparaître depuis quelques dizaines d'années de l'atmosphère des grandes zones urbaines européennes (mais il peut caractériser encore l'atmosphère de beaucoup de zones urbaines de pays en voie de développement).

Les phénomènes de pollution acide à grande échelle ont été mis en évidence par l'acidification des eaux des lacs scandinaves et canadiens dans les années 70. Le pH des eaux est devenu acide, entraînant des modifications importantes de la faune piscicole par exemple. Certaines pluies avaient un pH compris entre 3 et 4 alors que l'acidité naturelle de l'eau de pluie est de 5,6.

Ces polluants sont transportés à grande distance. La France impacte les pays voisins sur un domaine plus ou moins étendu, mais elle est impactée aussi par les pays voisins.

Pour caractériser la sensibilité des milieux, la notion de **charge critique** a été définie. Les charges critiques sont déterminées sur la base de critères géologiques, pédologiques, hydrologiques et écologiques. Pour ce qui concerne les dépôts acides, la charge critique est définie ainsi : « dépôt de composés acidifiants le plus élevé qui ne puisse causer de dysfonctionnement chimique des sols susceptible d'entraîner des altérations à long terme sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes ».

Les **retombées acides** ont les effets suivants :

Acidification des lacs : grâce à l'étude de certains fossiles (certains animaux aquatiques sont caractéristiques d'une plage de pH), il a été établi que le pH des lacs est resté constant jusque vers 1950. Il s'est abaissé brusquement après. L'acidification de l'eau perturbe la faune piscicole et peut même la détruire complètement en cas de pH faible.

Dépérissement des forêts : le dépérissement des forêts atteint aussi bien les conifères que les arbres à feuilles caduques. Les nombreuses recherches réalisées sur le dépérissement des forêts ont montré qu'il y avait en fait synergie entre plusieurs phénomènes : Effets des sécheresses (ces effets sont renforcés par la présence de SO_2 et de l'ozone) ; dépôts acides secs ou humides qui provoquent un lessivage des éléments nutritifs des sols ; action directe de SO_2 ou NOx sur la physiologie des plantes.

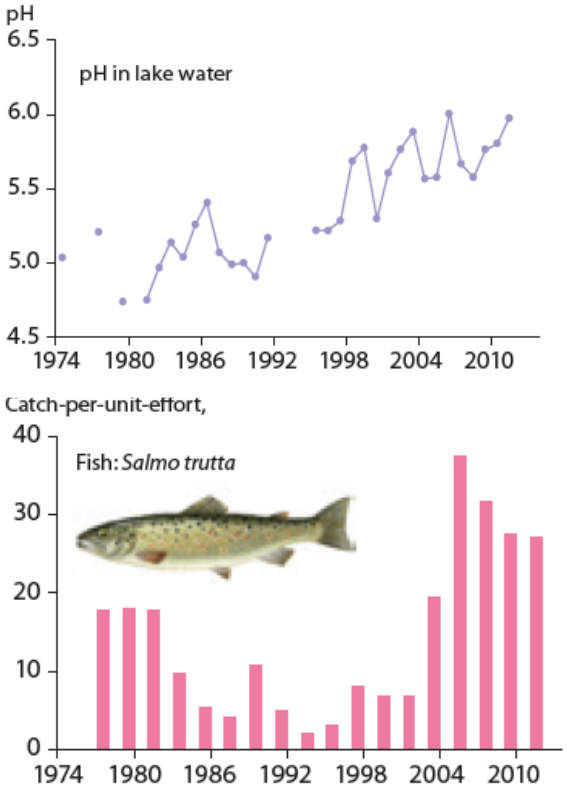
La charge critique pour les dépôts acides est donc la valeur des retombées qu'il ne faut pas dépasser pour maintenir la capacité de neutralisation des sols, permettant le maintien des paramètres vitaux pour la faune ou la flore. Ces paramètres peuvent être le pH des sols, des eaux de surface, les teneurs en calcium et en aluminium en solution, la combinaison de ces paramètres...

Les effets des dépôts acides variant géographiquement en fonction de la sensibilité des écosystèmes. La charge critique est déterminée pour chaque milieu.

Les **dépôts d'azote** dans un écosystème en modifient progressivement la composition floristique et diminuent la biodiversité en raison de l'eutrophisation. Les espèces nitrophiles, par exemple, se développent aux dépens des espèces qui préfèrent les sols moins riches. La biodiversité s'en trouve diminuée.

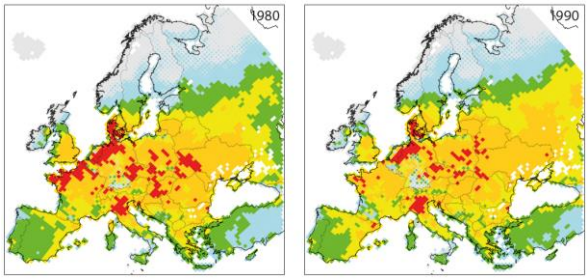
L'établissement de la Convention sur le transport de la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) en 1979, de ses Protocoles limitant les émissions de SO_2, NOx, COV, PM et NH_3 (notamment le Protocole de Göteborg multi-polluants, multi-effets de 1999 et amendé en 2012) et des directives européennes limitant aussi les émissions de ces mêmes polluants (directive NEC-1 (2001/81/CE) sur les plafonds d'émissions de polluants et directive NEC-2 (2016/2284) concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants (abrogeant la précédente), mais aussi de nombreuses directives sectorielles) ont permis des réductions significatives des impacts de ces polluants sur les écosystèmes et la santé. Il est à noter que la mise au point du Protocole de Göteborg (1999, 2012) et des directives 2001/81 et 2016/2284, est basée sur des objectifs de réduction des impacts des polluants sur la santé et les écosystèmes. Les plafonds d'émissions sont déterminés pour chaque pays, avec pour objectif, parmi d'autres, de réduire les niveaux de dépassement des charges critiques et réduire les impacts sanitaires.

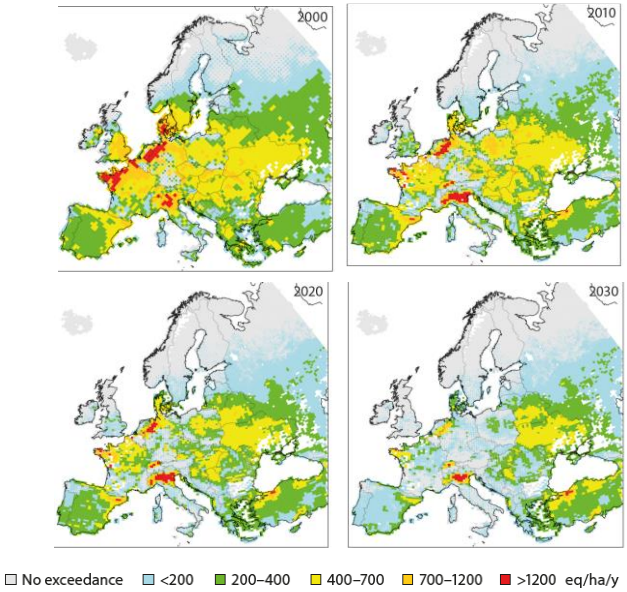
En termes d'impacts sur les écosystèmes, les progrès sont réels comme en témoigne les figures suivantes (Maas 2016).



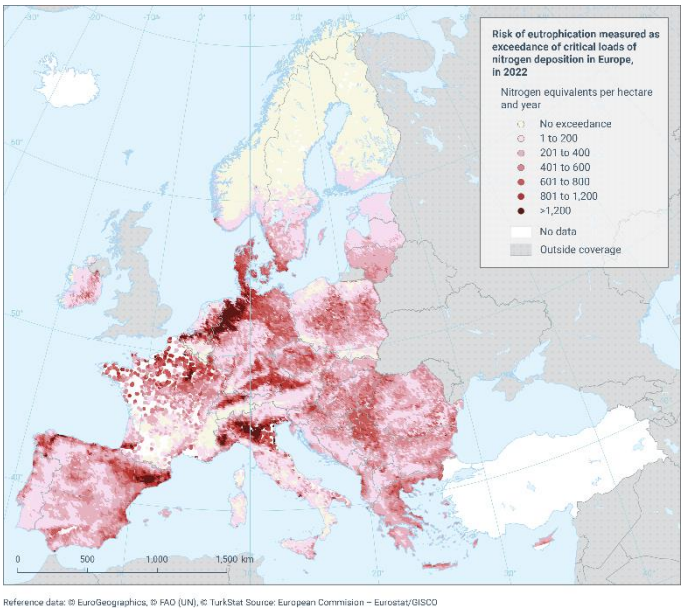
Récupération de l'acidification au lac Saudlandsvatn, en Norvège. Les dépôts de soufre ayant diminué, le pH de l'eau du lac a augmenté et les populations d'une espèce sensible ont commencé à se reconstituer (CLRTAP 2016)

Comme pour l'acidification, on observe dans la plupart des pays européens une réduction de l'eutrophisation.





Dépassement moyen cumulé des charges critiques calculées pour l'eutrophisation de 1980 à 2020 en vertu du Protocole de Göteborg amendé de 2012 (scénario GP-CLE) et en 2030 sous un scénario de réduction maximale réalisable (MAAS 2016). La carte ci-dessous montre les zones d'écosystèmes menacées d'eutrophisation en 2022 (Agence Européenne pour l'Environnement).



Dépassement des dépôts atmosphériques d'azote au-dessus des charges critiques pour l'eutrophisation en Europe en 2022 (Agence Européenne pour l'Environnement, 2022).

Pollution photochimique

La pollution photochimique (ou pollution photo-oxydante) est un ensemble de phénomènes complexes conduisant à la formation d'ozone (O_3) et d'autres composés oxydants (tels que peroxyde d'hydrogène, aldéhydes et peroxyacétyl nitrate (PAN) à partir de polluants primaires (appelés précurseurs), tel que l'oxydes d'azote (NOx), les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), le monoxyde de carbone (CO) et le méthane (CH_4), et d'énergie apportée par le rayonnement ultra-violet (UV) solaire. Cette pollution atmosphérique riche en ozone, appelée aussi « smog », se rencontre dans la basse couche de l'atmosphère, ou la troposphère (0 à 8-10 km d'altitude). La durée de vie de l'ozone dans la troposphère est de quelques semaines mais cette durée de vie est plus courte au niveau de la couche limite (partie de l'atmosphère sensible à la présence de la surface terrestre (continentale ou océanique). Son épaisseur varie de quelques centaines de m (la nuit) à 2 à 3 km (le jour)).

L'ozone et les oxydants photochimiques sont des polluants secondaires. Les réactions chimiques mises en jeu sont complexes mais peuvent être représentées de façon simplifiée. Elles mettent en jeu en atmosphère polluée, le NO_2 et des COV, polluants primaires ou précurseurs.

Le NO_2 est dissocié sous l'action du rayonnement UV, à des longueurs d'ondes $\lambda < 430$ nm :

$$NO_2 + hv \rightarrow NO + O \qquad [a]$$

L'oxygène atomique ainsi créé réagit avec l'oxygène moléculaire pour former l'ozone, molécule constituée de 3 atomes d'oxygène, :

$$O + O_2 \rightarrow O_3 \qquad [b]$$

L'ozone réagit avec le monoxyde d'azote pour redonner NO_2 :

$$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad [c]$$

En présence de COV, un ensemble complexe de réactions se met en route et conduit à l'accumulation d'ozone. Ces réactions enrichissent le réservoir atmosphérique en NO_2 en consommant du NO [selon la réaction f décrite ci-dessous] qui ne peut plus jouer son rôle de puits d'ozone [réaction c]. Il y a donc la production de NO_2 sans destruction d'ozone. La décomposition des COV est déclenchée par le radical OH (radical hydroxyle) qui est très réactif et présent de façon naturelle dans l'atmosphère.

$$RH + OH \rightarrow R + H_2O \qquad [d]$$

(RH est une représentation simplifiée d'un COV, R représentant une molécule organique associée à l'hydrogène)

$$R + O_2 \rightarrow RO_2 \qquad [e]$$

$$RO_2 + NO \rightarrow NO_2 + RO \qquad [f]$$

Ces réactions génèrent de nombreuses espèces organiques gazeuses et notamment des composés organiques nitrés, tel que le PAN.

Les conditions météorologiques favorisant l'apparition de fortes concentrations d'ozone sont notamment :

- une température élevée de l'air,
- une faible teneur en humidité de l'air,
- une longue durée d'ensoleillement,
- une forte irradiation,
- une faible vitesse synoptique du vent (vents à grande échelle par opposition aux vents locaux).

La pollution photochimique est un phénomène caractéristique des situations estivales anticycloniques.

Une des caractéristiques importantes de la chimie atmosphérique est son caractère non linéaire. Cela signifie que la production d'ozone n'est pas proportionnelle aux teneurs en précurseurs. Selon l'abondance relative des divers composés, ce sont les réactions de formation ou de destruction qui sont favorisées.

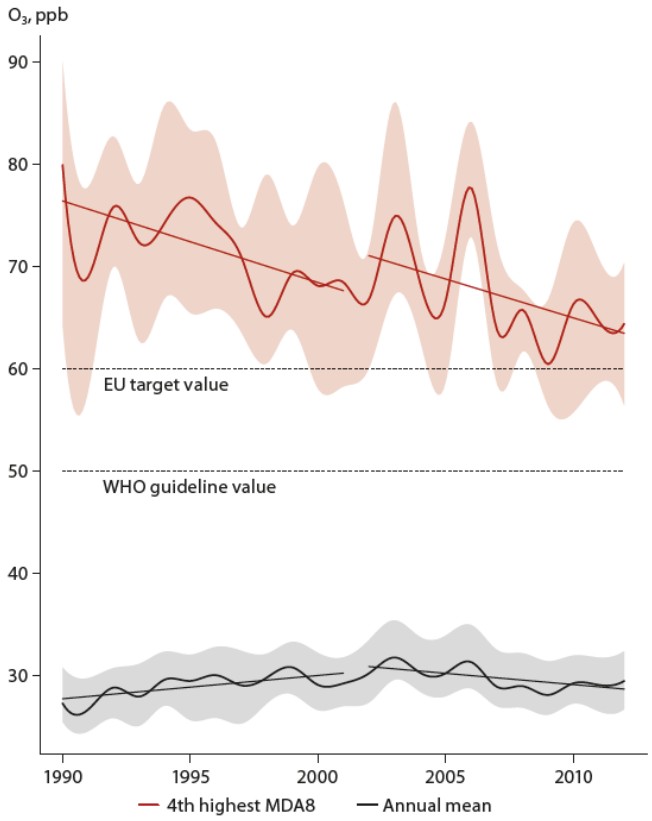
C'est ce qui explique que, de façon surprenante, les concentrations d'ozone mesurées loin des sources des précurseurs (une agglomération par exemple) sont plus élevées que celles mesurées près des sources émettrices elles-mêmes. Ainsi, les zones suburbaines et rurales sont plus touchées que les zones urbaines par les phénomènes de pointes de concentrations en ozone. En effet, sur une ville, par exemple, les émissions de NO (liées au trafic notamment) sont élevées. L'ozone susceptible de se former est rapidement détruit par le NO présent en forte concentration. Si le nuage de polluants formé sur la ville se déplace à la campagne, où les émissions de NO sont moindres, les concentrations d'ozone augmentent puisque l'ozone n'est plus consommé.

Le 9 juillet 2020, l'Ademe et l'Ineris ont publié les résultats d'une étude sur le coût économique pour l'agriculture des impacts de la pollution de l'air par l'ozone troposphérique en France, suite au programme de recherche APollO (*Analyse économique des impacts de la Pollution atmosphérique de l'Ozone sur la productivité agricole et sylvicole en France*). Cette étude évalue les impacts des hausses de concentration en ozone sur les rendements de différences espèces végétales (en cultures, forêt et prairie).

De façon générale, les stratégies de réduction devraient se concentrer sur les précurseurs les moins présents (COV et NOx) présentant un caractère limitant dans la chimie (Seigneur 2018). Pour aller plus loin, cette dernière référence présente, de façon assez synthétique, cette chimie de l'atmosphère.

En France et en Europe, les concentrations de fond en ozone n'ont pas diminué significativement malgré la baisse des émissions des précurseurs d'ozone, NO_x et COVNM. Les niveaux de concentrations observés lors des épisodes de fortes concentrations en ozone ont, en revanche, diminué sous l'impact de ces réductions. Cette évolution est présentée ci-dessous.

Sous l'impact de l'augmentation des températures qui favorise la formation d'ozone troposphérique et l'impact du transport des polluants à grande échelle, la réduction des concentrations de fond d'ozone passe aujourd'hui par une action de réduction des émissions de NOx et de CH_4 à grande échelle (Amann, 2018), (Maas, 2016). La seule réduction des émissions des précurseurs à l'échelle nationale ou locale ne suffit pas.



Évolution des pics de concentration d'ozone (4ème plus haut niveau quotidien des concentrations en ozone moyennes sur 8 heures) et les concentrations moyennes annuelles sur les 54 stations de surveillance EMEP avec une couverture de données satisfaisante. Les lignes indiquent la médiane et les zones ombrées les 25 et 75 percentiles. Les lignes de tendance sont indicatives pour les périodes 1990-2002 et 2002-2012 (Maas 2016).

Le 1er avril 2022, l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) a publié une note d'analyse sur le bilan de la qualité de l'air en Europe en 2021. Ses conclusions sur les concentrations en ozone dans l'ensemble des pays couverts par l'AEE sont les suivantes. Les données pour l'ozone ont été rapportées à partir de 1 885 stations pour la valeur cible pour la protection de la santé et pour la valeur guide de l'OMS à court terme, et à partir de 1 754 stations pour l'objectif à long terme.

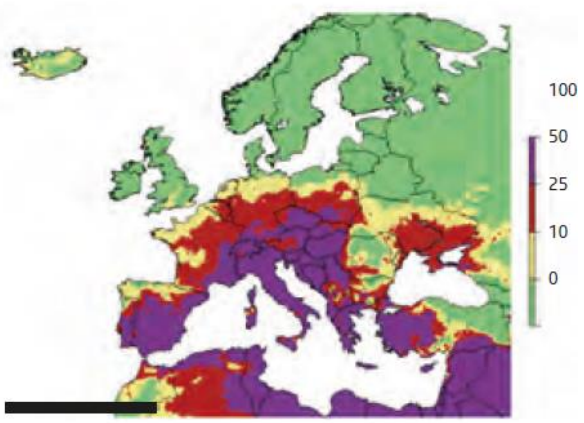
Valeur cible pour la protection de la santé (120 µg/m³ [maximum journalier de la moyenne sur 8h, à ne pas dépasser plus de 25 jours/an]) : en 2021, 16 pays de l'UE-27 et 4 autres pays ont enregistré des concentrations supérieures à la valeur cible d'O_3 (120 µg/m³) plus de 25 fois. Au total, 9% de toutes les stations mesurant l'O_3 ont enregistré des concentrations supérieures à la valeur cible.

Objectif à long terme pour la protection de la santé (120 µg/m³ [maximum journalier de la moyenne sur 8h/an]) : Seulement 20% (367) de toutes les stations ont atteint cet objectif. 86% des stations, dont les valeurs

étaient supérieures à l'objectif à long terme, étaient des stations de fond.

Valeur guide de l'OMS pour la protection de la santé (100 µg/m³ [maximum journalier de la moyenne sur 8h]) : plus stricte que la valeur cible de l'UE, cette valeur guide a été dépassée dans 92% des stations en 2021. Autrement dit, seulement 8% (150) de toutes les stations, et seulement 20 stations des 484 stations de fond rurales signalées, avaient relevé des valeurs inférieures à la valeur-guide à court terme de l'OMS pour l'O_3 (100 µg/m³), fixée pour la protection de la santé humaine.

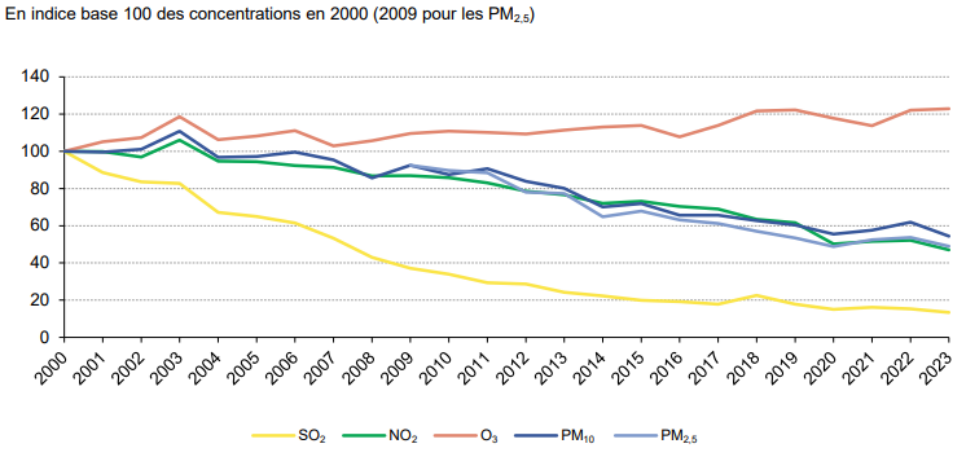
Sur la figure ci-dessous, on constate que la partie de l'Europe, plus ensoleillée et plus chaude, présente des nombres de jours de dépassement plus importants que la partie Nord.



Nombre de jours où la moyenne journalière sur 8 heures a dépassé le seuil de 100 µg/m³ (valeur guide de l'OMS) en 2017 (Copernicus Atmosphère Services).

Le bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2023 a été publié par le MTE en octobre 2024. Le bilan du respect des valeurs limites est donné ainsi que les principales tendances sur la période 2000-2023.

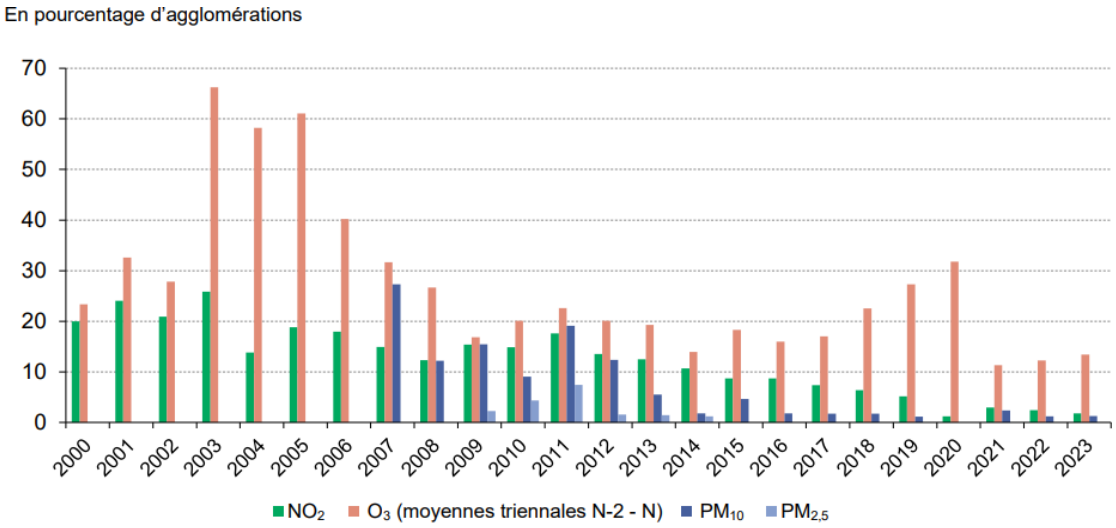
Contrairement aux autres polluants, les teneurs moyennes en ozone suivent une tendance à la hausse sur l'ensemble de la période avec des niveaux particulièrement élevés en 2003, de 2018 à 2020, en 2022 et 2023, années marquées par des épisodes importants de canicule.



Notes :
- la méthode de mesure des PM_{10} a évolué en 2007 afin d'être équivalente à celle définie au niveau européen. Elle permet désormais de mesurer une fraction des particules non prise en compte avant 2007 et a eu pour conséquence une augmentation des concentrations. L'indice calculé ici étant un indice chaîné qui mesure les évolutions par couple d'années (avec ancienne et nouvelle méthode pour l'année 2007), il n'y a pas de rupture de série malgré le changement de méthode ;
- les mesures de $PM_{2,5}$ sont suffisamment nombreuses depuis 2009. La courbe les concernant débute ainsi en 2009, en prenant comme hypothèse que l'indice $PM_{2,5}$ en 2009 était égal à l'indice PM_{10}.
Champ : France métropolitaine hors Corse.
***Source :** Geod'air, juin 2024. Traitements : SDES, 2024*

Evolution des concentrations moyennes annuelles pour les polluants SO_2, NO_2, O_3, PM_{10} et $PM_{2,5}$, en fond urbain (Bilan de la qualité de l'air extérieur en France,2023)

Le bilan de la qualité de l'air nous informe également des dépassements des seuils réglementaires de qualité de l'air fixés pour la protection de la santé dans les agglomérations pour différents polluants (principalement le NO_2, l'O_3, les PM_{10} et $PM_{2,5}$). Concernant l'ozone, le pourcentage d'agglomérations touchées par des dépassements du seuil réglementaire a beaucoup diminué entre 2007 et la première moitié des années 2010 en lien notamment avec la baisse de la concentration atmosphérique des NOx. On observe toutefois une hausse entre 2018 et 2020 du pourcentage d'agglomérations en dépassement parallèlement à la concentration moyenne annuelle (épisodes importants de canicule). Enfin, les années 2021 à 2023 sont marquées par une baisse massive du nombre d'agglomérations en dépassement



Notes :
- les normes réglementaires de qualité de l'air prises en compte sont les valeurs limites pour le NO_2, les PM_{10} et les $PM_{2,5}$ et la valeur cible pour l'O_3 (détail des normes en annexe) ;
- pour les PM_{10}, les dépassements des normes réglementaires de qualité de l'air prennent ici en compte les contributions naturelles, qui sont parfois substantielles. Sans ces contributions naturelles, certaines agglomérations ne sont plus considérées en dépassement. C'était par exemple le cas de Marseille en 2022 ;
- pour les $PM_{2,5}$, la série commence en 2009, année à partir de laquelle les mesures sont suffisamment nombreuses ;
- la méthode de mesure des PM_{10} ayant évolué en 2007 afin d'être équivalente à celle définie au niveau européen, les concentrations de PM_{10} de la période 2000-2006 ne peuvent de fait être comparées à celles de la période 2007-2023 et ne figurent donc pas dans le graphique ;
- pour l'O_3, la conformité à la norme réglementaire de qualité de l'air se mesure en moyenne triennale. La valeur pour 2023 correspond à la moyenne de la période 2021-2023. Le mode de calcul de cette moyenne a évolué récemment conformément à des préconisations européennes. La dernière règle en vigueur est appliquée à l'ensemble des années ;
- le nombre d'agglomérations avec des mesures varie d'une année et d'un polluant à l'autre. Il est compris entre 120 et 184 pour le NO_2, entre 120 et 202 pour l'O_3, entre 121 et 176 pour les PM_{10} et entre 44 et 125 pour les $PM_{2,5}$.
Champ : France métropolitaine et DROM.
***Source :** Geod'air, août 2024. Traitements : Ineris/LCSQA, SDES, 2024*

Evolution des dépassements des seuils réglementaires de qualité de l'air fixés pour la protection de la santé dans les agglomérations pour les polluants NO_2, O_3, PM_{10} et $PM_{2,5}$ (Bilan de la qualité de l'air extérieur en France, 2023)

Cette diminution brutale s'explique principalement par les conditions météorologiques de l'été 2021 à 2023, moins propices à la formation d'ozone troposphérique. En effet, l'été 2021 a été jalonné par un phénomène météorologique que l'on ne nomme « goutte froide ».

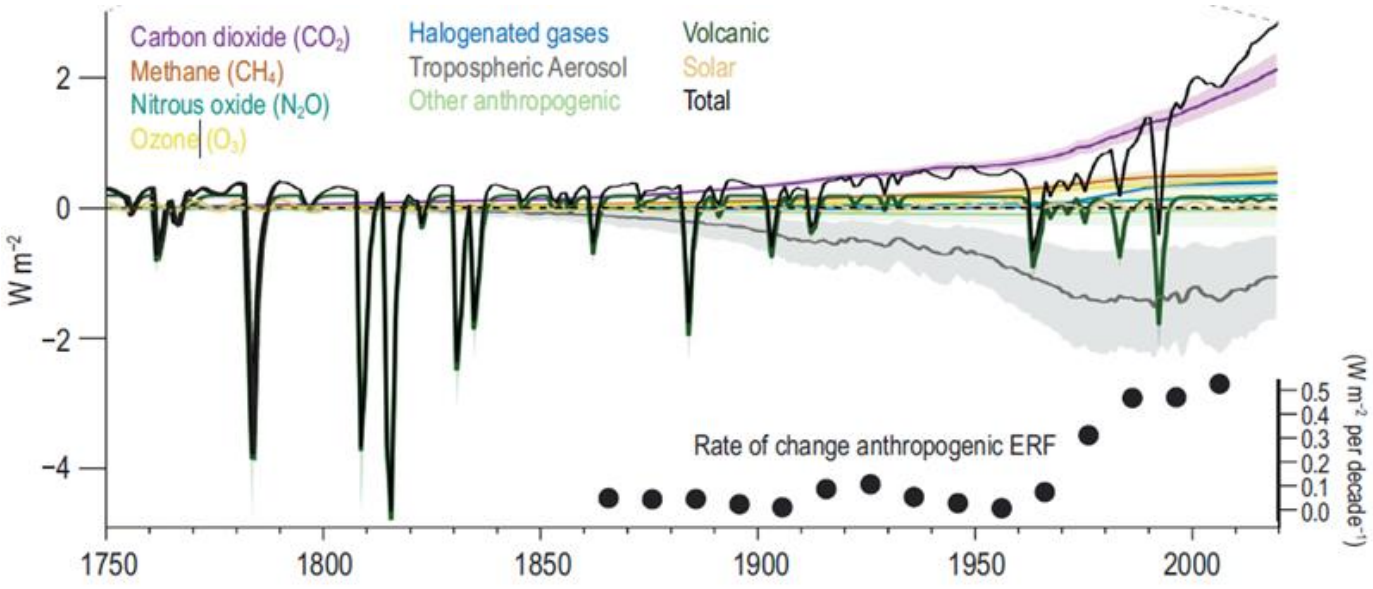
Une **goutte froide** est une poche d'air très froid située à plus de 5 000 m d'altitude. Lorsque le courant-jet polaire se déforme, il arrive qu'une poche se détache de la circulation associée au courant jet polaire pour descendre jusqu'à nos latitudes, que l'on surnomme une goutte froide. Son positionnement peut fluctuer, en fonction des masses d'air plus chaudes environnantes.

Ces zones de basse pression sont associées à une masse d'air instable. Elles provoquent souvent un temps perturbé, avec des averses, parfois composées de grésil jusqu'au sol, associées à de fortes rafales de vent. Ce phénomène a conduit à un ensoleillement plus limité que pour les autres années et est à l'origine de la baisse brutale de pics d'ozone observés dans les agglomérations.

Ozone troposphérique et effet de serre

L'ozone troposphérique est impliqué dans l'effet de serre. Il est le troisième gaz à effet de serre en termes de PRG après le CO_2 et le CH_4 selon le 6^{e} rapport d'évaluation du GIEC [IPCC- AR6-2021]. Son forçage radiatif est de 0,47 W.m^2 [IPCC- AR6-2021].

Ce gaz n'est pas encore pris en compte dans les engagements de réduction des gaz à effet de serre mis en place au niveau international dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Or, pour les scientifiques, l'augmentation des concentrations de fond en ozone milite pour des actions de réduction au niveau global (Amann 2018). L'augmentation des températures liées au changement climatique favorisent les réactions conduisant à l'ozone troposphérique. En raison de l'impact de l'ozone sur la santé et les écosystèmes (voir ci-après) et donc sur le puits de carbone, l'augmentation de ces concentrations dans la troposphère, pourrait conduire à une amplification de l'effet de serre. Les scientifiques recommandent donc de ne plus se satisfaire des actions régionales de réduction des émissions des précurseurs NOx et COVNM mais de mettre en place des actions au niveau global et de réduire notamment les émissions de CH_4 (Mass, 2016).

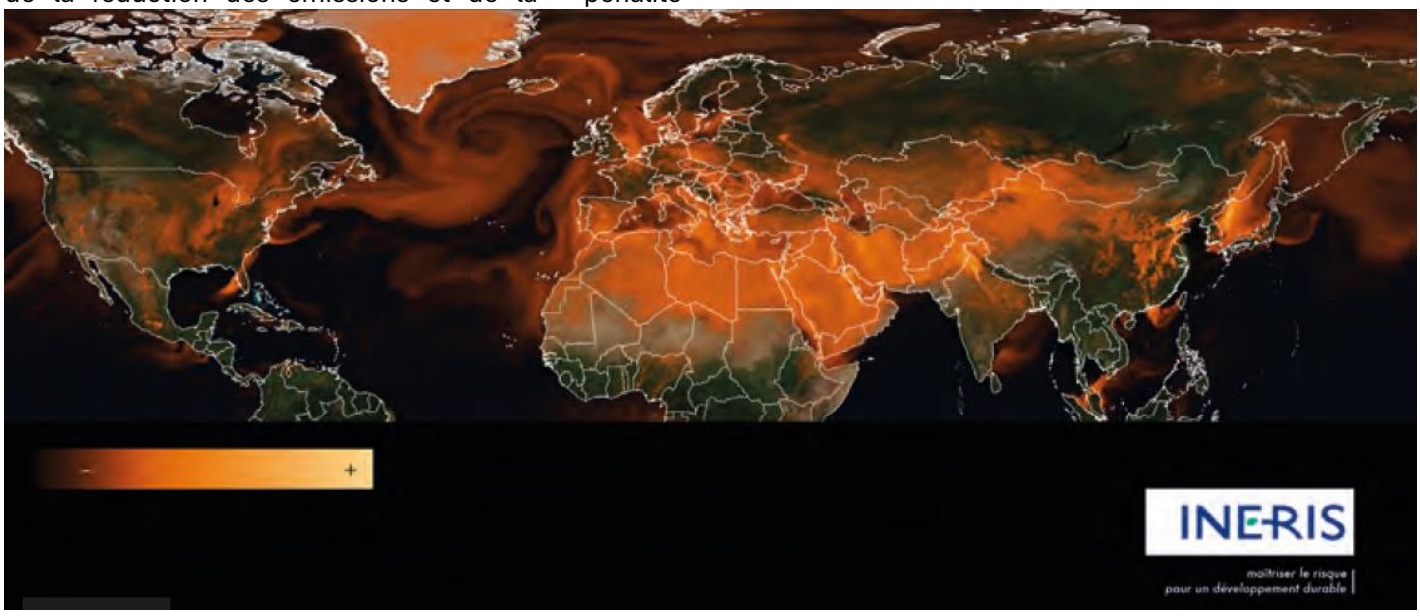


L'augmentation du forçage radiatif effectif depuis la fin du XIXe siècle est principalement due au réchauffement des GES et au refroidissement des aérosols (GIEC, 2021, Technical summary, Vol. 1).

L'ozone semble donc devoir rester un sujet d'étude dans les années à venir, du fait de sa sensibilité au transport de la pollution atmosphérique transfrontalière et à ses implications dans le réchauffement climatique.

C'est un sujet largement investigué par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Leurs travaux (Colette, 2016), publiés dans Environmental Research Letters, montrent une convergence des diagnostics et la mise en évidence d'un effet du réchauffement climatique d'ici la fin du siècle sur les concentrations d'ozone. Cette étude montre l'intérêt pour les décideurs politiques de rester ambitieux dans la mise en œuvre de stratégies de réduction des émissions.

L'ozone est l'exemple type du polluant influencé par le transport des masses d'air sur de très longues distances. L'Ineris a mené des travaux visant à estimer le poids respectif du transport des polluants à longue distance, de la réduction des émissions et de la « pénalité climatique » dans les niveaux d'ozone observés. Un scénario à échéance 2050, dans lequel les politiques de gestion de la pollution atmosphérique et du changement climatique resteraient au même niveau d'ambition que ceux en vigueur dans les réglementations actuelles, a été étudié. Il apparaît que les efforts de réduction des émissions de précurseurs sont entièrement contrebalancés par les imports transcontinentaux d'ozone. En revanche, une gestion internationale des réductions d'émissions des précurseurs de l'O_3, pourrait permettre de réduire de façon conséquente le niveau d'ozone, en France et en Europe. Cela semble essentielle pour développer des moyens de luttes efficaces pour limiter la présence de cette substance, qui peut continuer à se former et se transformer dans l'atmosphère à des centaines, voire des milliers de kilomètres des lieux d'émissions de précurseurs (Ineris, 2020).



Concentrations mondiales d'ozone le 21 juillet 2014, (Pollution Atmosphérique à l'Ozone : Décryptage, Ineris 2020)

Impact de la nature des COV sur la formation d'ozone

Tous les COVNM n'ont pas la même réactivité dans l'atmosphère. La notion de "réactivité photochimique" a été construite pour donner une image du pouvoir de production d'ozone de chaque COVNM. Plus celle-ci est élevée, plus le COVNM participe aux mécanismes, mais la relation est loin d'être linéaire.

Une méthode récente pour caractériser la réactivité photochimique, est basée sur l'estimation de la contribution réelle de chaque COVNM à la formation d'ozone dans une zone géographique déterminée, en prenant en compte les caractéristiques du milieu réactionnel (composition de l'air ambiant et caractéristiques des émissions). Cette méthode, extrêmement complexe, repose sur l'utilisation des modèles de chimie atmosphérique très sophistiqués.

Le Potentiel de Création de l'Ozone Photochimique d'un COVNM, PCOP (ou POCP en anglais), a été développé par la direction de la qualité de l'air au sein du Ministère britannique de l'Environnement par R.G. Derwent (Derwent 1998), en utilisant un modèle photochimique. Le modèle a été utilisé pour trois trajectoires supposées représentatives de situations générales en Europe lors d'épisodes de pollution photochimique, mais elles ne représentent pas un épisode particulier de pollution. Les contributions de chacun des COVNM initiaux dans la formation d'ozone sont obtenues en faisant tourner le modèle sur chaque trajectoire (une fois avec l'ensemble des composés, et au tant de fois que de COV à étudier avec l'ensemble des COVNM sauf l'un d'entre eux dont l'émission est considérée comme nulle). Il ressort notamment que l'éthylène est un composé très actif dans les processus photochimiques. Dans l'environnement, il est l'un des COVNM dont les concentrations commencent à être bien connues et sont parmi les plus fortes. Il sert de COVNM de référence. Son indice PCOP est fixé à 100. Le PCOP d'un composé i est défini par la formule suivante :

$$PCOPi = \frac{\text{Evolution de la concentration d'ozone avec le COVNMi}}{\text{Evolution de la concentration d'ozone avec l'éthylène}} \times 100$$

Echelle de classification :

- Pouvoir élevé : PCOP > 80%
- Pouvoir moyen : PCOP 40 à 60%
- Pouvoir faible : PCOP 10 à 35%
- Pouvoir très faible : PCOP <10%

La réactivité des COVNM est la suivante :

Aromatiques > Alcènes > Aldéhydes > Alcanes.

Toutefois, il est nécessaire de garder en mémoire que la valeur du PCOP d'un COVNM (ou tout autre indice) dépend du modèle utilisé, de la valeur de tous les paramètres rentrant dans le modèle, des conditions climatiques modélisées, du lieu de constat de la concentration d'ozone et du temps entre l'émission et le constat de la concentration d'ozone. L'exploitation directe d'un indice PCOP n'est pas possible. Il faut se rappeler que cet indice varie dans le temps et dans l'espace (ainsi des composés initialement peu réactifs peuvent jouer un rôle prépondérant quand les COVNM les plus réactifs ont réagi).

Aux Etats-Unis, le paramètre MIR (Maximum Increment Reactivity) est utilisé pour caractériser le potentiel de création d'O_3.

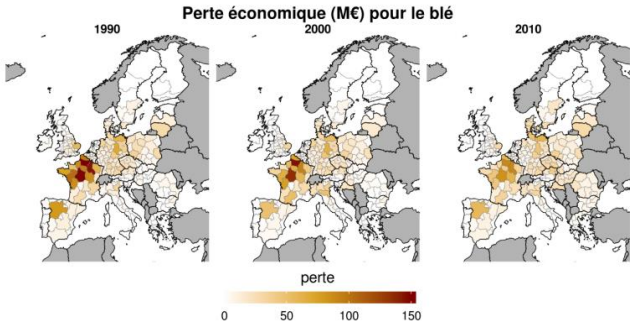
De façon générale en Europe, la réduction des émissions de COVNM est requise, quel que soit leur potentiel de création d'ozone. La connaissance de la réactivité des espèces chimiques est essentielle dans la modélisation. L'impact des SO_2, NOx, COV et NH_3 dans l'effet de serre et de mieux en mieux documentée.

Impact de l'ozone sur la santé humaine et les végétaux

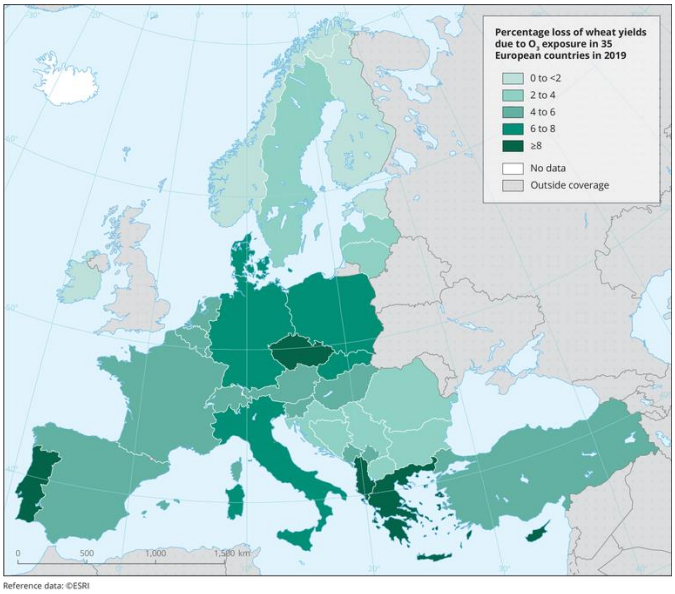
L'ozone troposphérique a un impact sur la santé humaine. Il entraîne une irritation des voies respiratoires et des yeux, une baisse des performances physiques et une détérioration de la fonction pulmonaire. Dans l'Union européenne (UE-27), le nombre de décès prématurés en 2019, dus à l'exposition aux $PM_{2,5}$, au NO_2 et à l'ozone est estimé respectivement à 307 000, 40 400 et 16 800 selon l'Agence européenne pour l'environnement européenne (AEE, 2021). Pour la France, ces morts prématurées sont respectivement estimées à 29 800, 4 970 et 2 050 en 2019.

L'ozone perturbe l'activité photosynthétique des plantes et altère leur résistance. L'ozone attaque les plantes par leurs stomates. Les plantes absorbent moins d'ozone par temps sec que par temps humide. En effet, les stomates se referment par temps sec pour protéger la plante de la sècheresse et la protège de ce fait de l'ozone. Les plantes sont plus ou moins sensibles à l'ozone. Ce dernier provoque des dégâts visibles sur le feuillage (jaunissement par exemple) et entraîne des déficits en croissance. Des études montrent que la productivité des cultures diminue avec la présence d'ozone.

L'ozone et les polluants photochimiques accentuent également le pouvoir acidifiant des oxydes de soufre et d'azote, en accélérant l'oxydation de ces composés en sulfates et nitrates. La pollution oxydante et la pollution acide agissent de façon combinée sur la végétation et contribuent aux troubles des forêts.



Cout économique (M€) des effets de l'ozone sur le blé tendre par région en Europe en 1990, 2000 et 2010. Les zones en gris clair représentent les pays hors EU28 (Schucht et al., Coût économique pour l'agriculture des impacts de la pollution de l'air par l'ozone-APollO, 2019) L'ozone réduit également la capacité de stockage de carbone par les plantes.



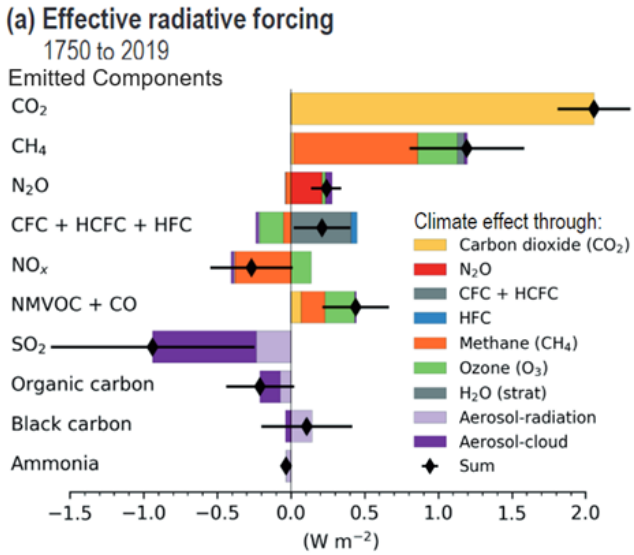
Pertes de rendement du blé au niveau national, exprimées en% de la perte de rendement, agrégées à partir des pertes régionales au niveau NUTS2 (Agence Européenne pour l'Environnement, 2022)

Impact des SO_2, NOx, COV et NH_3 dans l'effet de serre

Les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre comptabilisent les 7 gaz à effet de serre direct mais aussi le SO_2, les NOx, le CO et les COVNM comptabilisés comme des gaz à effet de serre indirect (CCNUCC 2019). Ces quatre gaz ont une action indirecte sur l'effet de serre en tant que polluants primaires intervenant dans la formation de polluants secondaires, comme l'ozone ou les aérosols. Ils n'entrent pas dans le "panier" de Kyoto.

- Le CO et les COV s'oxydent en CO_2 et contribuent à la formation d'ozone. Ils ont tous deux un forçage radiatif positif contribuant donc au réchauffement.
- Les NOx conduisent à la formation d'ozone (forçage positif), mais aussi à la formation de particules de nitrate et oxydent le CH_4 (forçage négatif). Au global ils ont un forçage négatif.
- Le SO_2 a un effet refroidissant, en produisant des sulfates (forçage négatif).
- Le NH_3 présente lui aussi un forçage négatif en produisant des nitrates et des ions ammonium.

La figure suivante présente les coefficients de forçage des diverses espèces chimiques (IPCC- AR6-2021). Il est à noter que l'on ne trouve pas directement l'ozone puisqu'il est émis indirectement, mais sa contribution apparait indirectement par l'intermédiaire de ses précurseurs.



Forçage radiatif des composés (IPCC- AR6-2021).

SO_2 | Dioxyde de soufre

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Le dioxyde de soufre (SO_2) est un gaz incolore, toxique avec une odeur pénétrante et fortement irritante pour les yeux et les voies respiratoires.

Le SO_2 est essentiellement issu des processus de combustion des combustibles fossiles soufrés et certains procédés industriels.

Composition chimique
Deux atomes d'oxygène et un atome de soufre.

Origine
Sources anthropiques : utilisation de combustibles fossiles riches en soufre (charbon, lignite, coke de pétrole, fioul lourd, fioul domestique, gazole, etc.) ; procédés industriels (production de H_2SO_4, production de pâte à papier, raffinage du pétrole, etc.).

Source naturelle : volcans, solfatares.

Phénomènes associés
Le SO_2 participe à l'acidification de l'air, peut former un brouillard et des aérosols d'acide sulfurique et de sulfates. Il est un précurseur de particules secondaires.

C'est un gaz à effet de serre indirect avec un effet refroidissant par sa composante sulfate.

Effets
Acidification

Effet de serre : effet refroidissant (forçage radiatif négatif)

Santé

Enjeux

Effets environnementaux

Les émissions de SO_2 participent à la pollution acide. Elles entrainent des dépôts de sulfates et d'acides sulfuriques qui perturbent les écosystèmes

▶ voir section AEPP | Phénomènes associés

Objectifs de réduction

Les émissions de SO_2 représentaient un enjeu majeur des politiques air dans les années 1980 et 1990. Ainsi, le SO_2 est visé depuis la fin des années 1980 par différents Protocoles, Directives et plans d'actions pour sa réduction : Protocoles d'Helsinki (1985) et d'Oslo (1994) sur les SO_2 dans le cadre de la CLRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance) avec des objectifs de réductions ; Protocole de Göteborg (1999), multi-polluants, multi-effets, entré en vigueur en 2007, dans le cadre de la CLRTAP, et son amendement (2012) ratifié par la France le 6 décembre 2021 mais rentré en application en 2019 ; Directive NEC (2001/81/EC) européenne sur les plafonds d'émissions nationaux (*National Emission Ceilings Directive*) ; Directive NEC-2 (2016/2284) sur la réduction des émissions nationales de certains polluants (abrogeant la directive NEC de 2001) ; PREPA : Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques de 2017 (décret n°2017-949) prévu par la LTECV (Loi 2015-992 relative à la transition énergétique pour la croissance verte). Le PREPA, qui contribue au respect de la NECD-2, prévoit notamment de réduire les émissions polluantes d'origine industrielle en renforçant les exigences réglementaires et leur application notamment en augmentant l'intensité de contrôle des installations classées (ICPE) dans les zones les plus polluées et pour les installations les plus émettrices.

Les émissions de SO_2 sont également visées par la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles (directive IED), un outil instauré pour atténuer les émissions industrielles sur la santé humaine et sur l'environnement. Elle s'applique aux activités industrielles les plus émettrices telles que les installations relevant de l'ancienne directive IPCC (2008/1/CE), les grandes installations de combustion (GIC) relevant de l'ancienne directive GIC (2001/80/CE), les installations d'incinération et de co-incinération de déchets relevant de l'ancienne directive incinération (2000/76/CE), ou les installations et les activités utilisant des solvants organiques relevant de l'ancienne directive COV (1999/13/CE). Une proposition de révision de la

directive IED, présentée en 2022, vise à encourager une profonde transformation des installations agricoles et industrielles vers une pollution zéro, grâce à l'utilisation de technologies de pointe. Cela contribuera à réaliser les objectifs du plan d'actions pour une ambition « zéro pollution » dans l'air, l'eau et le sol à l'horizon 2050, adopté par la Commission en 2021 dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe. Ce dernier fixe plusieurs objectifs clés pour 2030, parmi lesquels :

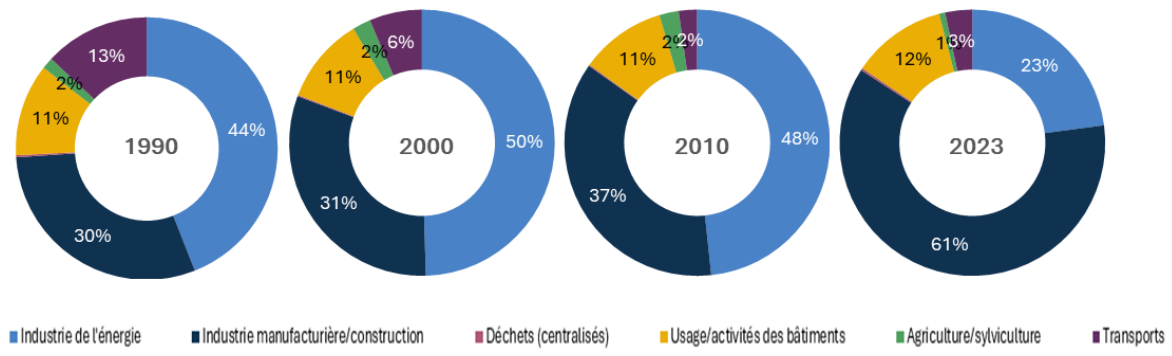
- L'amélioration de la qualité de l'air afin de réduire de 55%, par rapport à 2005, le nombre de décès prématurés causés par la pollution atmosphérique
- La réduction de 25%, par rapport à 2005, du nombre d'écosystèmes terrestres et aquatiques de l'UE où l'eutrophisation liée à la pollution menace la biodiversité.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 14,1%.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de SO_2 en France

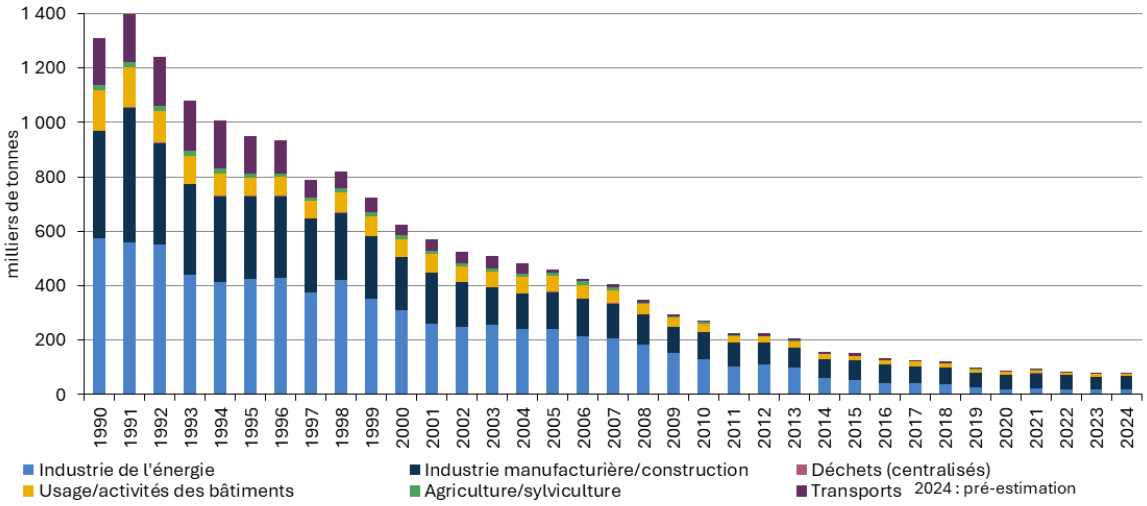
Tendance générale

Entre le début de la période étudiée concernant les émissions de SO_2, en 1960, et le début des années 1970, une forte hausse des émissions de SO2 a été observée, en raison de la hausse de la consommation de combustibles fossiles, et ce jusqu'à la crise pétrolière de 1973.

Depuis 1980, la baisse des émissions de SO_2 dans les différents secteurs s'explique par :

- la diminution des consommations d'énergie fossile du fait de la mise en œuvre du programme électronucléaire et du développement des énergies renouvelables ;
- la mise en place d'actions d'économie d'énergie ;
- la baisse d'utilisation des centrales thermiques, ne servant que pour la production d'appoint, l'utilisation par les industriels de combustibles moins soufrés et l'amélioration du rendement énergétique des installations ;

Sont venues s'ajouter à ces réductions, diverses dispositions réglementaires sur la teneur en soufre des combustibles et carburants, renforçant la baisse constatée, notamment avec la mise sur le marché du gazole non routier (GNR) en 2011 en remplacement du fioul domestique pour les engins notamment du BTP.



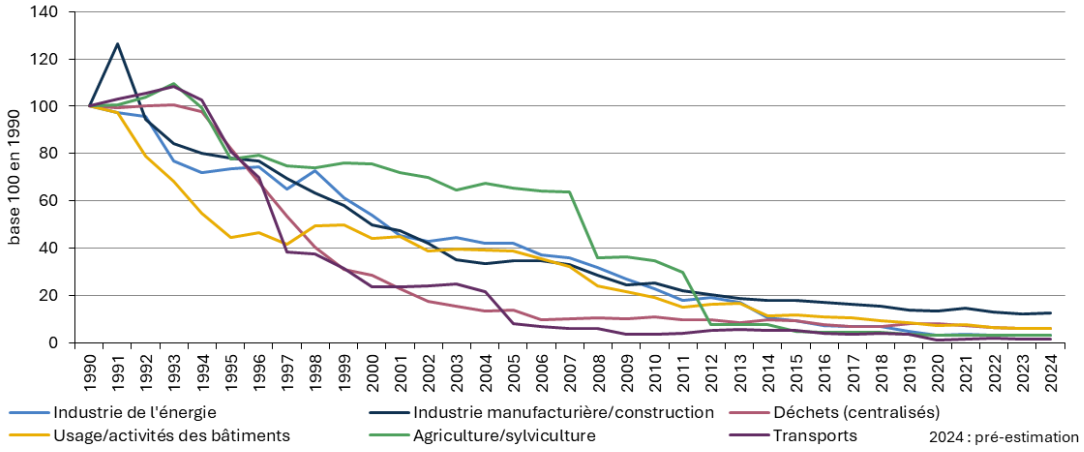
Evolution des émissions dans l'air de SO_2 depuis 1990 en France (Métropole)

Cette tendance de fond, orientée à la baisse, continue de perdurer grâce à la poursuite de la mise en œuvre de réglementations visant à sévériser les valeurs limites d'émission des installations industrielles dans le cadre de la directive sur les émissions industrielles (directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, dite IED), avec la mise en conformité des Grandes Installations de Combustion (GIC, d'une puissance nominale > 50 MW), ainsi que les valeurs limites d'émission des autres installations de combustion, notamment entre 1 MW et 50 MW (installations de combustion de taille moyenne) dans le cadre des arrêtés français sur la combustion. Ces réglementations encouragent notamment la mise en place en place de techniques de désulfuration des gaz de combustion dans les installations industrielles.

Il est important de souligner que malgré cette tendance générale à la baisse, certaines années voient leurs émissions de SO_2 augmenter. Ces années constituent des épiphénomènes liés à la conjoncture climatique, du fait d'années plus froides (par exemple, une forte vague de froid ayant nécessité de recourir davantage aux énergies fossiles en 1998) et/ou à la conjoncture technique (par exemple, une moindre disponibilité du nucléaire en 1991).

A l'inverse, une douceur exceptionnelle du climat, comme en 2011 et 2014, ou encore la crise économique, en 2008, accentuent la baisse des émissions observées. Ceci montre la sensibilité des émissions aux aléas climatiques, notamment pour les secteurs de la transformation d'énergie et du résidentiel/tertiaire, et aux aléas économiques, essentiellement pour les industries.

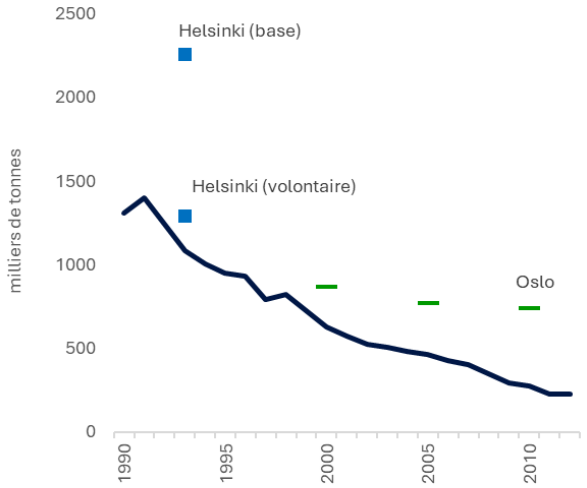
Dans l'agriculture/sylviculture, les émissions de SO_2 proviennent de la combustion dans les engins mobiles. La baisse observée depuis 2011 s'explique par l'obligation de consommer du gazole non routier moins soufré en remplacement du fioul domestique.



Evolution des émissions dans l'air de SO_2 en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Atteinte des objectifs

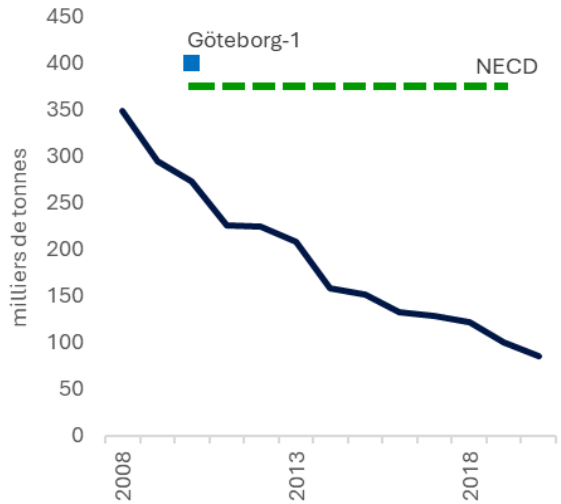
Tous les objectifs de réduction des émissions de SO_2 sont atteints ou en voie d'être atteints en France.



Emissions de SO_2 et objectifs des Protocoles d'Helsinki et d'Oslo

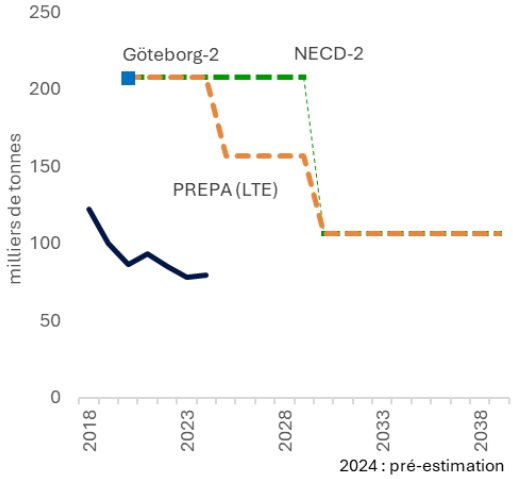
Dans le cadre de la CLRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance), le **Protocole d'Helsinki de 1985** sur les SO_2 comprenait un objectif de base et un objectif volontaire contraignant. Le **Protocole d'Oslo de 1994** avait fixé de nouveaux objectifs de réduction. Ainsi, l'objectif du Protocole d'Helsinki pour 1993 de 1274 kt SO_2 a été atteint avec 1082 kt émis. L'objectif du Protocole d'Oslo pour 2000 de 868 kt SO_2 a été atteint avec 626 kt SO_2 émis.

Toujours dans le cadre de la CLRTAP, le **Protocole de Göteborg de 1999** (Göteborg-1)**,** entré en vigueur en 2007, avait fixé un objectif de 400 kt SO_2 pour l'année 2010. La **Directive NEC** (2001/81/EC) européenne sur les plafonds d'émissions nationaux (*National Emission Ceilings Directive*) avait ajouté un objectif de 375 kt SO_2/an à ne pas dépasser sur la période 2010-2019. Ces deux objectifs ont été atteint, avec une émission passant de 273 kt SO_2en 2010 à 100 kt SO_2 en 2019.



Emissions de SO_2 et objectifs Protocole de Göteborg et NECD

L'**Amendement de 2012 au Protocole de Göteborg de 1999** (Göteborg-2), ratifié par la France le 6 décembre 2021 mais rentré en application en 2019, a ajouté de nouveaux objectifs de réduction pour la France, non en absolu mais en relatif : -55% en 2020 par rapport à 2005, soit 208 kt. La nouvelle Directive NEC européenne (directive (UE) 2016/2284 ou NECD-2) reprend cet engagement et ajoute des engagements de réduction après 2020, notamment une réduction de 77% en 2030. Au niveau national, le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques de 2017 (décret n°2017-949), dit PREPA, reprend les objectifs de la NECD-2 en ajoutant un pallier de réduction intermédiaire en 2025. Pour l'instant, ces objectifs sont déjà atteints ou en voie de l'être : 86 kt SO2 émis en 2020 contre un objectif de 208 kt ; 78 kt émis en 2023 contre un objectif de 157 kt à atteindre en 2025 et de 106 kt à atteindre en 2030.



Emissions de SO_2 et objectifs Protocole de Göteborg-2 et NECD-2

La France a donc déjà respecté ses engagements nationaux de réduction de SO_2 (objectifs relatifs de réduction par rapport à l'année de référence 2005) portant sur les échéances 2020 (-55%) et 2030 (-77%), dans le cadre de la NECD-2, qui oblige les Etats-membres à limiter leurs émissions anthropiques annuelles de SO_2, NOx, NH3, COVNM et $PM_{2,5}$.

Évolution récente

Pour la plupart des secteurs, l'évolution des émissions de SO_2 de ces dernières années est soit en légère baisse soit constante. Des baisses significatives sont tout de même observées dans les secteurs de la transformation de l'énergie, traduisant notamment l'abandon progressif du charbon dans la production d'électricité, et de l'industrie manufacturière du fait de l'évolution du mix énergétique avec une part plus importante pour les combustibles moins soufrés (gaz naturel notamment).

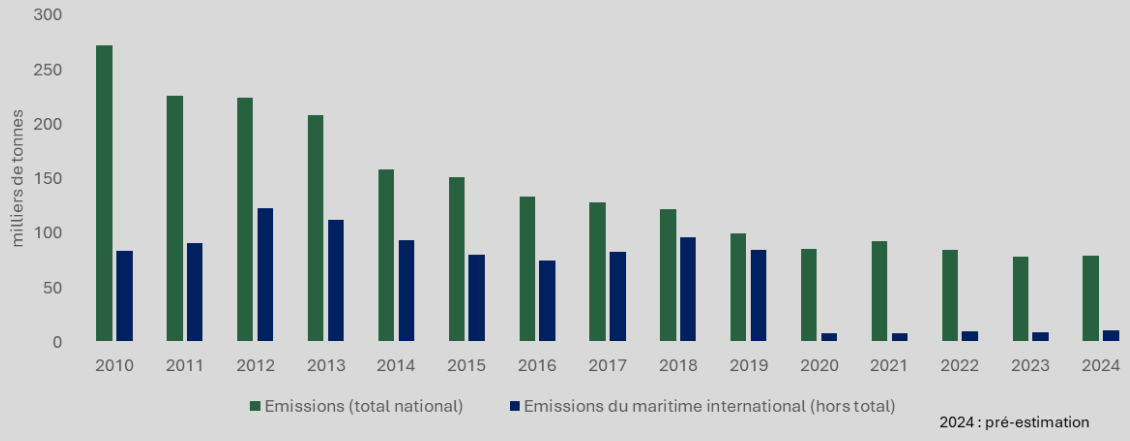
La crise sanitaire et les périodes de confinements en 2020 ont peu affecté le niveau des émissions de SO_2.

En 2024, d'après notre pré estimation, les émissions de SO_2 de la France présentent une augmentation de 1,6% par rapport à 2023. Cette augmentation s'explique notamment par une augmentation des émissions de l'industrie manufacturière, et en particulier de certains sous-secteurs parmi les plus émetteurs, tels que la métallurgie des métaux non-ferreux, la chimie et la métallurgie des métaux ferreux, liée à une augmentation de production en 2024 des activités les plus émettrices (l'acier, et la chimie organique et inorganique).

Les émissions du maritime international ont chuté après 2020

Les émissions de SO_2 hors du total national restent importantes et sont principalement dues au secteur maritime international. L'annexe VI révisée de la convention MARPOL 73/78 (Convention internationale pour la prévention de la pollution des navires) a imposé au 1er janvier 2020 une teneur en soufre maximale pour les combustibles utilisés dans le secteur maritime à 0,5% (contre 3,5% avant cette date). Cette annexe VI définit également des zones de contrôle des émissions (ECA), que sont la mer Baltique, la mer du Nord (dont la Manche), l'Amérique du Nord, la mer Caraïbe. La surveillance des SO_2 doit notamment y être plus rigoureuse, et des normes d'émissions plus sévères y sont imposées aux navires. Depuis le 1er janvier 2015, la teneur en soufre du carburant utilisé pour les navires dans ces zones doit être inférieure à 0,1% (1% auparavant, depuis le 1er janvier 2010). Autrement, les navires doivent s'équiper d'un dispositif de traitement des gaz d'échappement (laveur de fumées) ou de toute autre technique permettant de limiter les émissions de SO_2. Ces mesures ont entraîné une baisse de la teneur en soufre du fioul lourd et ont contribué à diminuer considérablement les émissions de ce secteur. Elles ont diminué de 87% entre 2019 et 2024, selon les pré-estimations.

Une extension de ces zones ECA (dites SECA pour la surveillance du SO_2) à tout ou partie de la mer Méditerranée est également prévue. Cette zone à faibles émissions d'oxydes de soufre, qui entre en vigueur en 2024, sera effective en 2025.



Evolutions respectives des émissions de SO2 dans l'air du total national et du maritime international (hors total national) depuis 2010.

Techniques de réduction

Il existe des techniques de réduction des émissions de SO_2 telles que :

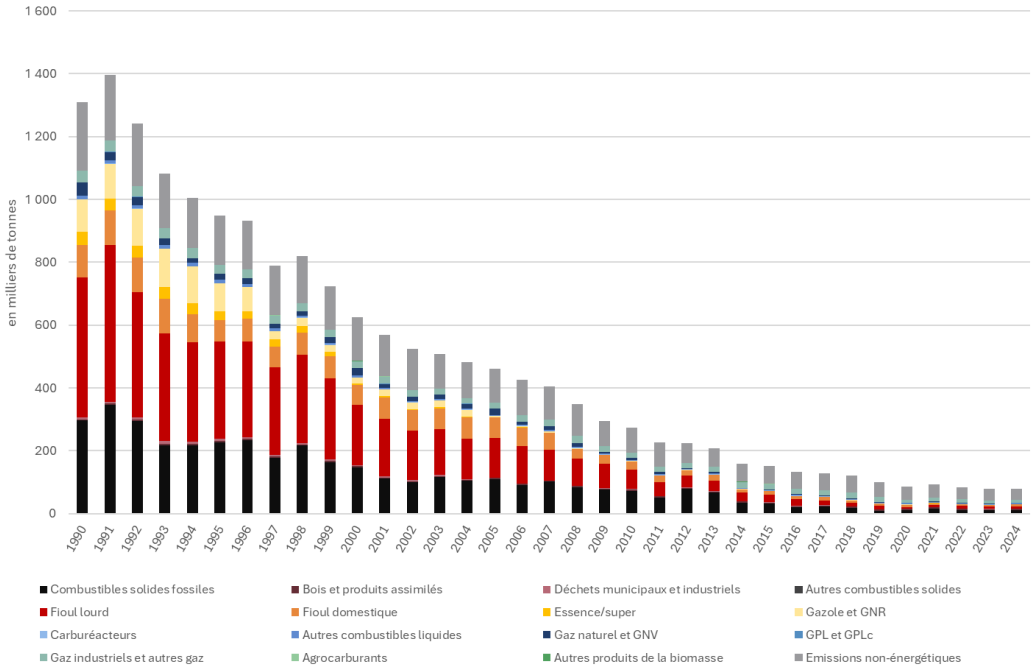
- L'utilisation de combustibles à faible teneur en soufre dans les secteurs d'activités liés à l'énergie,

- La désulfuration des gaz de combustion dans les installations industrielles. Il s'agit de lavages, à l'eau ou à l'eau de mer, formant de l'acide sulfureux ou sulfurique, ou de procédés de neutralisation à la chaux ou au bicarbonate de soude (qui forment du $CaSO_4$, forme anhydre ou gypse). Ces derniers procédés se font, selon les flux de polluants à traiter, par voie sèche (fumées / poudres), semi-humide (fumées /aérosol liquide) ou humide (bullage des gaz dans une solution de réactif).

A noter que ces unités de traitement de SO_2 sont généralement couplées avec des unités de traitement de NO_X.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions de SO_2 sont majoritairement issues de procédés énergétiques (liées à des combustibles). Leur part dans les des émissions totales est passée de 83% en 1990 à 56% en 2024, avec un minimum de 52% atteint en 2020. Depuis 1990, le dioxyde de soufre est principalement émis par la combustion des combustibles solides fossiles, ainsi que par l'utilisation de gazole, de fioul lourd et de fioul domestique. Les émissions issues de ces sources ont diminué de 95 à 99,6% entre 1990 et 2024.



Répartition des émissions de SO_2 par combustible en France (Métropole)

NO_X | Oxydes d'azote

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Les oxydes d'azote comprennent le NO_2 (dioxyde d'azote) et le NO (monoxyde d'azote).

Composition chimique
Un atome d'azote et un ou deux atomes d'oxygène.

Origine
Sources anthropiques : combustion de tout combustible fossile ou biomasse dans le transport routier, les installations de combustion dans la production d'électricité, le chauffage urbain, l'industrie, le résidentiel et le tertiaire ; quelques procédés industriels (production d'acide nitrique, fabrication d'engrais, traitement de surfaces, etc.).

Sources naturelles : volcans, éclairs, feux de forêts.

Phénomènes associés
Les NOx contribuent à l'acidification, à l'excès de retombées azotées (eutrophisation), à la formation de particules secondaires et interviennent dans la formation des oxydants photochimiques (ozone troposphérique).

Effets
Effet de serre, forçage radiatif négatif (refroidissant)

Précurseur d'ozone

Acidification

Eutrophisation

Santé (pour le NO_2)

Enjeux

Effets environnementaux et sanitaires

Les émissions de NO_X entraînent l'acidification de l'atmosphère et des retombées acides (acidification des lacs, dépérissement des forêts) ainsi que des dépôts d'azote (nitrates), à l'origine du phénomène d'eutrophisation. Les NO_X sont aussi des précurseurs d'ozone. Ils ont un impact complexe sur l'effet de serre : les NO_X conduisent à la formation d'ozone (forçage positif), mais aussi à la formation de particules de nitrate et oxydent le CH_4 (forçage négatif).

Les NO_X sont nocifs pour la santé humaine, particulièrement le NO_2 qui pénètre profondément dans les poumons où il fragilise la muqueuse face aux agressions infectieuses. Irritant les bronches, il augmente la fréquence et la gravité des crises chez les asthmatiques et il altère le développement de la capacité pulmonaire des jeunes enfants. Par ailleurs, le NO passe dans les alvéoles pulmonaires et se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Objectifs de réduction

Les NOx sont visés depuis la fin des années 1980 par différents Protocoles, Directives et plans d'actions pour leurs réductions :

- **Protocole de Sofia de 1988** sur les NOx dans le cadre de la CLRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance) ;

- **Protocole de Göteborg de 1999**, multi-polluants, entré en vigueur en 2007, dans le cadre de la CLRTAP ;

- **Amendement de 2012 au Protocole de Göteborg de 1999**, ratifié par la France le 6 décembre 2021 mais rentré en application en 2019 ;

- **Directive NEC** (2001/81/EC) sur les plafonds d'émissions nationaux (National Emission Ceilings Directive) ;

- **Directive NEC-2** (2016/2284) sur la réduction des émissions nationales de certains polluants et abrogeant la directive NEC de 2001 ;

- **PREPA** : Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques de 2017 (décret n°2017-949) prévu par la LTECV (Loi 2015-992 relative à la transition énergétique pour la croissance verte), suivi d'une mise à jour par le nouvel arrêté du 8 décembre 2022.

Dépassement des normes de concentrations

Malgré une diminution générale des émissions de NOx, localement, les concentrations de NO_2 dans l'air restent préoccupantes. Ainsi, le 24 octobre 2019, la France a été condamnée par la Cour de Justice de l'UE (CJUE) pour non-respect de la directive 2008/50/CE relative à la qualité de l'air ambiant, et plus spécifiquement pour "dépassement de manière systématique et persistante"

de la valeur limite annuelle de concentration (VLC) pour le dioxyde d'azote (NO_2).

Le 7 février 2024, la Commission européenne a annoncé, dans un communiqué, avoir adressé un avertissement formel à la France, sous forme de **lettre de mise en demeure complémentaire**, pour non-exécution de l'arrêt de la Cour de justice de l'UE (CJUE), rendu le 24 octobre 2019. La Commission a ainsi relancé le contentieux, en cours avec la France sur la mise en œuvre de la directive 2008/50/CE, et tout particulièrement sur le non-respect des valeurs limites de concentration (VLC) que la directive a fixées pour le NO_2. La Commission souligne que depuis l'arrêt du 24 octobre 2019, la France a pris certaines mesures et que de nouveaux plans relatifs à la qualité de l'air ont été adoptés dans certaines zones de mesure de la qualité de l'air afin de renforcer les actions existantes. Toutefois, la France ne s'est toujours pas conformée à l'arrêt de la CJUE en ce qui concerne les valeurs limites annuelles de NO_2 dans quatre zones de mesure de la qualité de l'air : Paris, Lyon, Strasbourg et Marseille-Aix. Quatorze ans après le délai fixé par la directive et plus de quatre ans après l'arrêt de la CJUE, les mesures adoptées jusqu'à présent n'ont pas permis de résoudre efficacement la question. Pour tenir compte des mesures supplémentaires prises par la France, des données de surveillance les plus récentes et de la jurisprudence récente de la CJUE, la Commission a donc envoyé une lettre de mise en demeure complémentaire à la France. La France disposait d'un délai de **deux mois** pour répondre et remédier aux manquements constatés par la Commission. En l'absence de réponse satisfaisante, la Commission pourrait décider de saisir la CJUE, avec une demande d'infliger des sanctions financières. Le 25 avril 2025 (Décision n° 428409), le Conseil d'État constate que les mesures prises par l'État depuis 2017 pour respecter les seuils de pollution ont porté leurs fruits Après l'avoir condamné à plusieurs astreintes, le Conseil d'État juge aujourd'hui que l'État a mis en place les actions nécessaires pour améliorer la qualité de l'air en France et exécuté sa décision de justice de 2017 dans sa totalité. Plus aucune zone ne dépasse les seuils de pollution aux particules fines (PM_{10}) et le seuil de pollution au dioxyde d'azote (NO_2) est quasiment respecté à Lyon et proche de l'être à Paris. Le Conseil d'État estime que les mesures mises en œuvre permettent, depuis 2024, de respecter les valeurs limites de concentration en dioxyde d'azote à Lyon, et qu'elles devraient prochainement garantir le respect de ces seuils à Paris.

Révision de la directive Qualité de l'air (2008/50/CE)

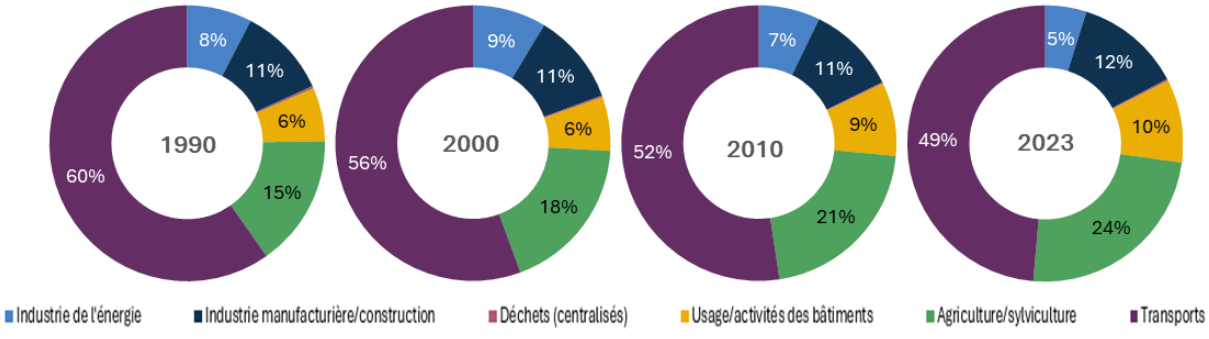
Dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe de 2019, la Commission a décidé de **réviser les normes européennes en matière de qualité de l'air** afin de les aligner davantage sur les valeurs guides en matière de qualité de l'air de l'OMS [Organisation mondiale de la santé].

Des travaux de révision de la directive qualité de l'air (2008/50/CE) ont été lancés en 2019 qui ont aboutis à de nouvelles règles approuvées par le Parlement européen. La directive révisée sur la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, directive (UE) 2024/2881 en date du 23 octobre 2024 entrée en vigueur le 10 décembre 2024, aligne plus étroitement les normes de qualité de l'air de l'Union européenne sur les recommandations scientifiques.

Les normes de qualité de l'air sont révisées à la baisse pour **les 12 polluants réglementés**. Ces normes sont à respecter au **1er janvier 2030**. Ainsi, la nouvelle directive fixe des valeurs limites de concentration plus strictes par rapport à celles fixées par la directive 2008/50/CE, qui sont actuellement en vigueur, pour plusieurs polluants, dont le NO_2. Ainsi, la valeur limite annuelle de NO_2 doit être réduite de moitié, passant de 40 µg/m^3 à 20 µg/m^3. A noter néanmoins que cette valeur limite de concentration européenne est deux fois plus élevée que la valeur guide de l'OMS (2021) pour le NO_2 (10 µg/m^3).

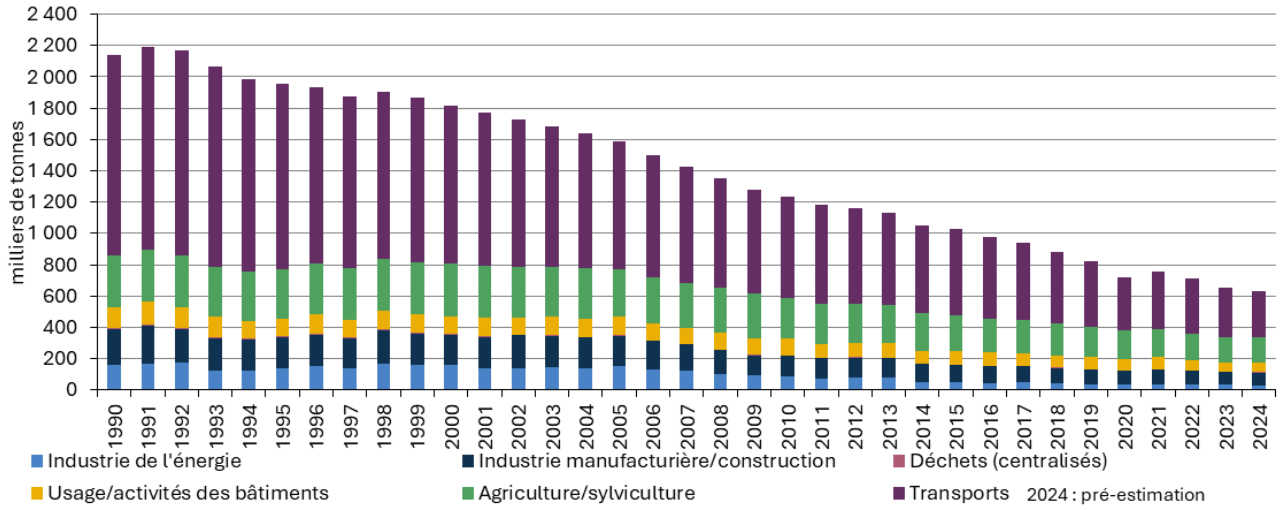
Les Etats membres ont deux ans pour transposer en droit national les dispositions législatives, réglementaires et administratives de la nouvelle directive.

Principaux secteurs émetteurs



Tendance générale

Depuis 1966, le principal secteur émetteur de NOx est celui du transport routier. Les émissions qui y sont associées sont en baisse depuis 1993, malgré l'accroissement du parc et de la circulation. Cette réduction globale des émissions du secteur des transports est à mettre en parallèle avec la mise en place, depuis 1970, des normes européennes d'émission. Ces réglementations fixent les limites maximales de rejets polluants pour les véhicules roulants, et intègrent les rejets de NOx pour les véhicules neufs mis en service. Cette baisse est principalement liée au renouvellement du parc de véhicules, à l'équipement progressif des véhicules essence en pots catalytiques et au développement d'autres technologies de réduction telles que les systèmes catalytiques de réduction (SCR) sur les véhicules légers Diesel à partir de 2016. Ainsi, les progrès réalisés au sein du secteur parviennent à contrebalancer l'intensification du trafic.



Evolution des émissions dans l'air de NO_x depuis 1990 en France (Métropole)

Cependant, cette baisse d'émissions de NOx n'a pas suivi la baisse des valeurs limite d'émissions (VLE) des normes européennes d'émissions. En effet, tandis que la sévérité des VLE s'est accentuée pour les normes récentes (notamment la norme Euro 6), les véhicules Diesel n'ont pas connu de baisse drastique des facteurs d'émission malgré un déploiement massif de systèmes de dépollution tels que les SCR ou pièges à NOx pour ces mêmes motorisations. A partir de la norme Euro 6 d-Temp, la procédure d'homologation (WLTP) a été revue afin de pallier ces écarts d'émission entre les VLE et les conditions réelles de conduites, notamment via l'intégration :

- D'un nouveau cycle de conduite plus représentatif des condition réelles de circulation (WLTC) ;
- De mesures en condition réelles de circulation (**R**eal **D**riving **E**missions) qui ne doivent pas excéder une certaine valeur NTE (Not-To-Exceed) ;
- La sévérisation du diagnostic « on-board » de défaillance des systèmes (OBD).

Ainsi, le renouvellement du parc, avec l'introduction de nouvelles motorisations Euro 6c et Euro 6d, a permis de considérablement réduire les émissions de NOx des véhicules. Enfin, la diminution progressive des véhicules Diesel dans le parc automobile depuis 2015 a également contribué à cette baisse.

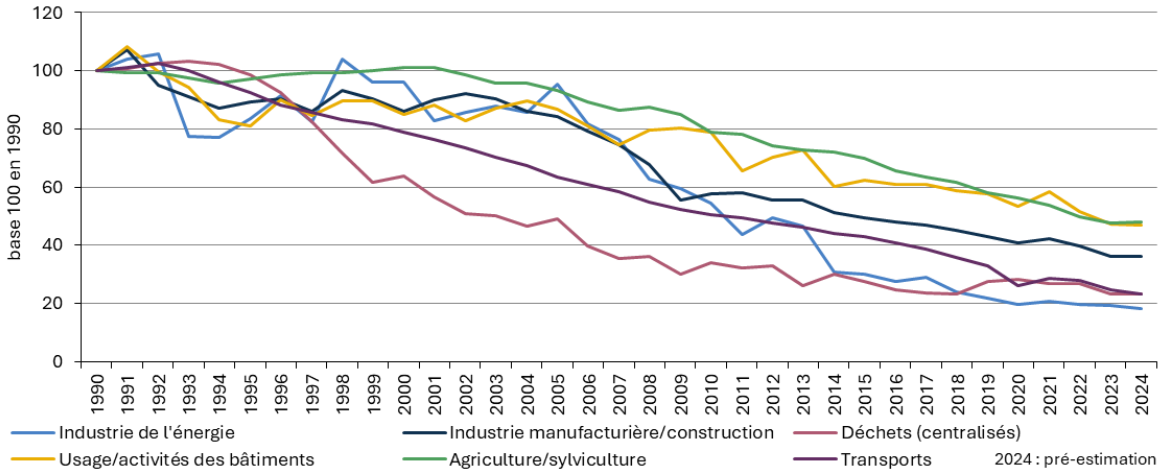
Les émissions des autres secteurs connaissent également une évolution à la baisse, expliquée par :

- une meilleure performance énergétique des installations industrielles ;
- la mise en place du programme électronucléaire et le développement des énergies renouvelables ;
- le renouvellement du parc des engins mobiles non routiers de l'agriculture/sylviculture et de l'industrie (particulièrement dans le sous-secteur du BTP) ;

la mise en place dans l'industrie et les installations de combustion de systèmes de traitement primaires et secondaires conformément à la directive GIC et à

d'autres réglementations (petites et moyennes installations de combustion, arrêté du 2 février 1998 modifié, directive 2010/75/UE dite « IED »).

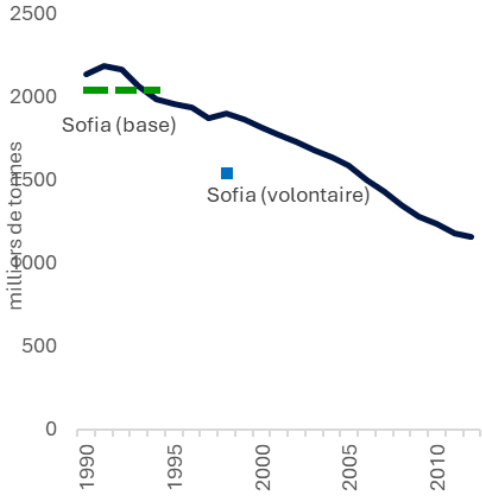
La directive IED a été modifiée par la directive 2024/1785 dite « IED 2 ». Celle-ci inclut les émissions industrielles de nouveaux secteurs et les émissions provenant de l'élevage. Les États membres ont jusqu'au 1er juillet 2026 pour la transposer.



Evolution des émissions dans l'air de NO_x en base 100 en 1990 en France (Métropole)

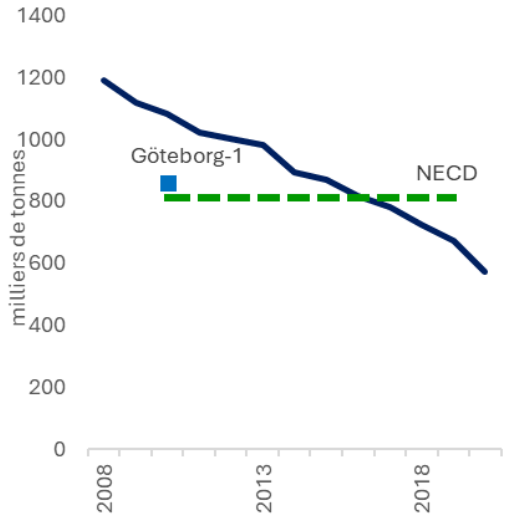
Atteinte des objectifs

L'objectif de base du Protocole de Sofia n'a été respecté qu'après 1994. L'objectif volontaire n'a pas été respecté en 1998 mais uniquement après 2006.



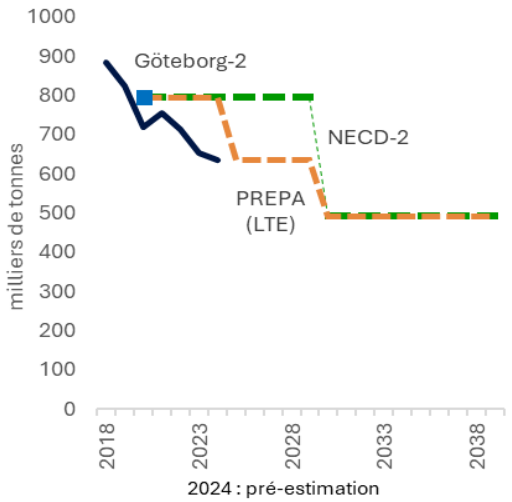
Emissions de NO_x et objectifs Protocole de Sofia

L'objectif du Protocole de Göteborg-1 sur la période 2010-2019 (ne pas dépasser le plafond en valeur absolue de 860 kt d'émission annuelle de NOx) n'a pas été respecté dès 2010.



Emissions de NO_x et objectifs Protocole de Göteborg et NECD

Ce plafond a été respecté avec 2 ans de retard et en prenant en compte des ajustements (NOx du transport routier et de l'agriculture). De la même manière, l'objectif de la NECD-1 sur la même période (ne pas dépasser, à partir de 2010, le plafond de 810 kt d'émission annuelle de NOx) n'a été atteint qu'avec 4 ans de retard et une fois les procédures d'ajustements prises en compte.



Emissions de NO_x et objectifs Protocole de Göteborg-2 et NECD-2

Pour la nouvelle période de Göteborg-2 et directive NECD-2, à partir de 2020, l'objectif de réduction des émissions, en relatif par rapport à 2005 (-50%) a été respecté pour les NOx pour l'année 2020 (-55%) sans ajustements.

Concernant 2023, la France a émis 654 kt de NOx, soit -59% par rapport à 2005 ce qui permet de respecter l'objectif de réduction d'au moins 50% dans le cadre de Göteborg-2 et NECD-2, également sans ajustements.

En 2024, d'après notre pré-estimation, la France a émis 634 kt de NOx, soit un peu plus de -60% par rapport à 2005, ce qui permet d'atteindre l'objectif PREPA (LTE) d'au moins 60% de réduction à partir de 2025.

Pour continuer à respecter ces objectifs, les émissions nationales de NOx doivent poursuivre cette réduction dans les prochaines années.

Ajustement des émissions pour les comparer aux objectifs

Lors de l'élaboration des objectifs de réduction réglementaires pour 2010 et 2020, l'état des connaissances n'était pas le même qu'aujourd'hui. Ainsi, les émissions de NOx de l'agriculture, à l'exception de celles émises par le brûlage de résidus de récolte et celles en lien avec les consommations énergétiques du secteur, n'étaient pas estimées, et n'ont donc pas été prises en compte dans l'élaboration des objectifs de réduction. De même, les méthodologies d'estimation des émissions de NOx du transport routier ont connu des changements conséquents depuis la fixation des objectifs. Par souci de cohérence, il s'agit de pouvoir évaluer le respect ou non des plafonds dans des conditions comparables, en faisant abstraction des améliorations des inventaires qui empêcheraient d'atteindre les objectifs de réduction (sachant que les objectifs de réduction d'émission ne sont pas révisés en fonction de l'avancée des connaissances scientifiques et techniques à la différence des inventaires). Pour la France, il s'agit donc de comparer les émissions de 2010 et 2020 sur la base des anciennes méthodes d'estimation pour le transport, et hors NOx biotiques de l'agriculture.

Évolution récente

Si la tendance générale des émissions de NOx est à **la baisse depuis plusieurs années**, pour le secteur résidentiel-tertiaire, certaines années, comme 2012 et 2013, ont été marquées par des augmentations ponctuelles des émissions. Cela s'explique par un indice de rigueur climatique plus élevé, par rapport à d'autres années marquées par un climat plus doux, comme 2011 et 2014. Ceci souligne la sensibilité des émissions aux aléas climatiques. Depuis 2014, tous les secteurs participent à la baisse des émissions. La tendance à la baisse des émissions de NOx dans le secteur des transports devrait se poursuivre au cours des prochaines années grâce à la mise sur le marché de véhicules aux normes de plus en plus strictes concernant les rejets de polluants.

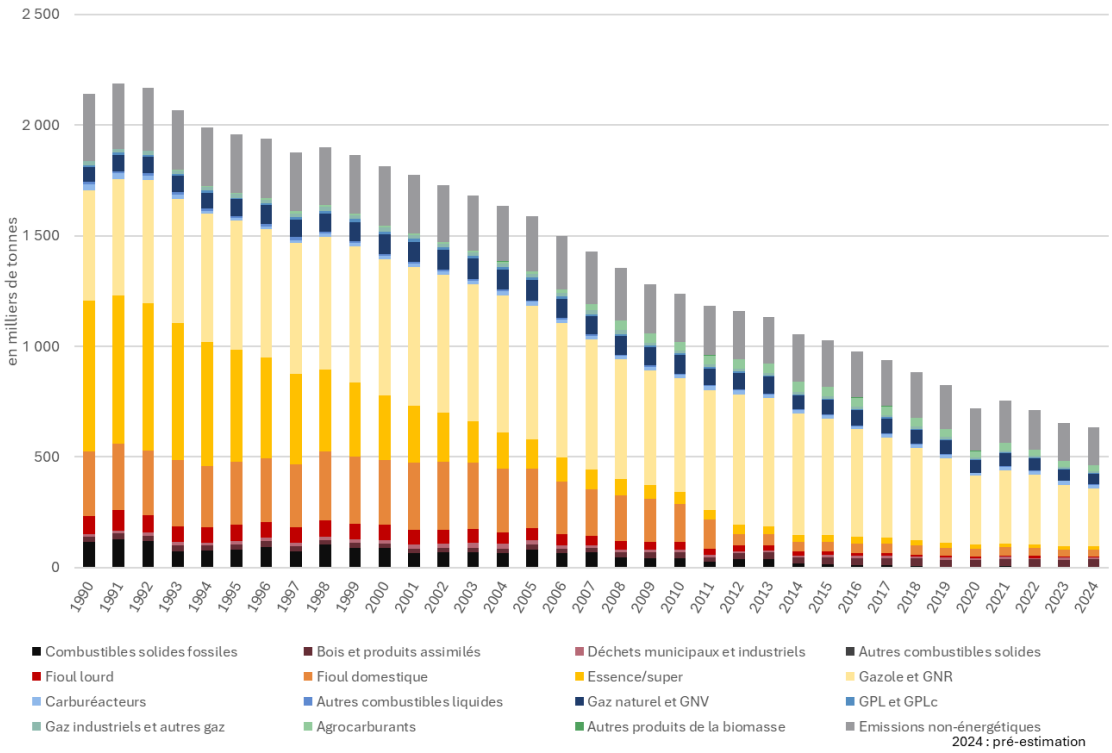
En 2023, les émissions totales nationales de NOx se sont élevées à 654 kt (contre 713 kt en 2022). Les émissions ont baissé de -8,2% en 2023 par rapport à 2022. Cette baisse s'explique par une baisse globale de la plupart des secteurs. Les émissions de NOx en 2023 restent dans la tendance baissière débutée en 1991 au rythme moyen de -2% par an. Concernant la pré-estimation de l'année 2024, les émissions de NOx s'élèvent à 634 kt, soit une baisse de -3,1% par rapport à 2023.

Le secteur contribuant majoritairement à la baisse observée entre 2022 et 2023 est celui du traitement centralisé des déchets (-13,8% en 2023 par rapport à 2022), suivi du secteur des transports (-10,5%), qui représentent 47% des émissions nationales. L'industrie de l'énergie, et l'industrie manufacturière et construction, présentent une baisse de -1,3 et -9,3% respectivement. L'usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires ainsi que l'agriculture / sylviculture baissent quant à eux de -8,5 et -3,9% respectivement.

Part des émissions liées aux combustibles

Depuis 2011 en France, les émissions de NOx sont majoritairement issues de la combustion du gazole (y compris en incluant la part du biogazole). La contribution de ce combustible au total national a augmenté ainsi

jusqu'à atteindre 70% en 2014 de par la diésélisation progressive du parc de véhicules routiers. Depuis 2015, la dédiésélisation du parc se fait lentement, entrainant une baisse de la contribution du gazole aux émissions



Répartition des émissions de NOx par combustible en France (Métropole)

NH_3 | Ammoniac

Type
Polluant atmosphérique

Définition
L'ammoniac (NH_3) est un composé présent à l'état naturel dans l'environnement. Il peut également être produit industriellement par le procédé d'Haber-Bosch, à partir de N_2 et de H_2. C'est un gaz incolore, reconnaissable à sa forte odeur, très irritant pour le système respiratoire, la peau et les yeux.

Composition chimique
Un atome d'azote (N) et trois atomes d'hydrogène (H) composent l'ammoniac, existant à l'état liquide ou gazeux.

Origine
Sources anthropiques : agriculture (effluents d'élevage, engrais azotés minéraux) ; voitures équipées d'un catalyseur, usage d'ammoniac et urée dans les procédés de dénitrification, quelques procédés industriels.
Source naturelle : décomposition de matières organiques par des microorganismes dans le sol.

Phénomènes associés
L'ammoniac est un précurseur de particules secondaires : il réagit avec les composés acides tels que les oxydes d'azote ou de soufre (émis par d'autres secteurs d'activité anthropiques) pour former par nucléation des particules très fines ($PM_{2,5}$) de nitrate ou de sulfate d'ammonium. Ceci renforce donc l'impact de l'ammoniac sur la santé. Il contribue à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux (excès de dépôts d'azote).

Effets
Acidification, Eutrophisation

Santé

Enjeux

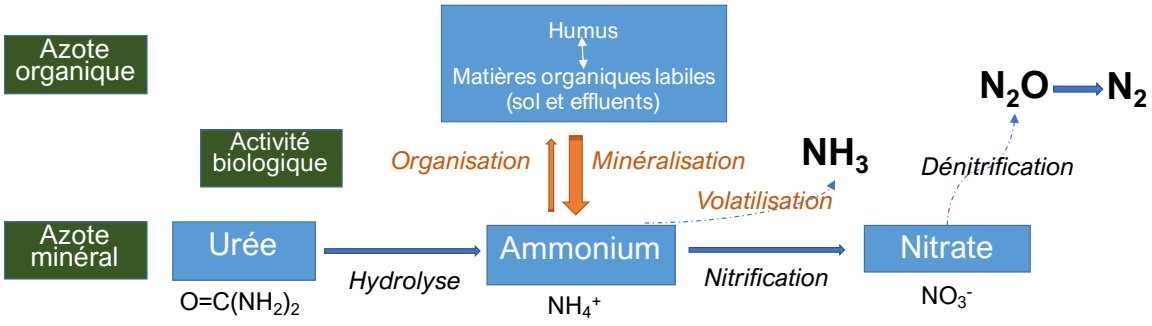
Un phénomène agricole

En France, les émissions d'ammoniac sont presque exclusivement d'origine agricole. La volatilisation de l'ammoniac en agriculture est un processus de surface. Elle correspond à l'émission dans l'air d'ammoniac gazeux (NH_3) issu de l'ion ammonium (NH_4^+), contenu dans le produit émetteur, ou dans la solution du sol.

Cette volatilisation a lieu généralement à l'épandage d'engrais azotés organiques (déjections animales, boues, composts...), et minéraux, contenant de l'azote uréique (précurseur de l'ammonium) ou ammoniacal (NH_4+).

Les principaux facteurs influençant la volatilisation de l'ammoniac sont la quantité d'azote ammoniacal contenue dans le produit, la surface de contact entre le produit et l'air, le pH du produit, les conditions pédoclimatiques et météorologiques (température, vent, précipitation, pH du sol) au moment de l'apport ou encore la capacité d'absorption par la culture.

Si l'on considère la fertilisation azotée d'une parcelle agricole, cette pollution est particulièrement préjudiciable pour l'agriculteur car l'azote perdu par volatilisation est autant d'azote qui ne sera pas utilisé pour la croissance des plantes, entrainant une baisse de l'efficacité des apports de produits azotés. Minimiser les pertes ammoniacales peut donc s'avérer une stratégie gagnant-gagnant pour l'agriculteur et la qualité de l'air.



Processus agricoles à l'origine des émissions de NH_3

Effets environnementaux et sanitaires

Le NH_3 présente un enjeu majeur pour l'environnement car les substances qui résultent de ses transformations chimiques (nitrate d'ammonium par exemple) sont impliquées à la fois dans l'acidification et

l'eutrophisation des milieux en raison de dépôts excessifs en milieu naturel, et dans la dégradation de la qualité de l'air. Une fois émis dans l'atmosphère, le NH_3 peut se combiner avec les oxydes d'azote issus des activités industrielles et du trafic routier pour former des particules fines ($PM_{2,5}$) dites secondaires, qui peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires et pénétrer dans le sang, causant asthme, allergies, maladies respiratoires ou cardiovasculaire, cancers. Voilà pourquoi le NH_3 est généralement pointé du doigt lors des épisodes de pics de particules printaniers. Par exemple, les observations atmosphériques du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) ont montré que les $PM_{2,5}$ de type nitrate d'ammonium lors de l'épisode de pollution aux particules fines en Ile-de-France en mars 2014, s'étaient formées dans l'atmosphère à partir de NH_3 émis par les activités agricoles et d'oxyde d'azote émis notamment par le transport routier.

En début d'année 2020, le NH_3 et le secteur agricole sont revenus sur le devant de la scène lors de la gestion de la pandémie de Covid-19, avec l'évaluation des impacts directs et indirects des mesures de confinement sur les émissions de polluants atmosphériques. En effet, un épisode de pollution aux particules fines a été observé les 28-29 mars 2020, notamment dans les régions Ile-de-France et Grand Est. Différentes raisons peuvent expliquer cet épisode de pollution : la poursuite d'activités émettrices localement (chauffage au bois dans le secteur résidentiel-tertiaire, épandages en agriculture), le transport par le vent de particules venant de sources plus lointaines (autres pays), ou de sources naturelles. Il est important de garder à l'esprit que de tels épisodes sont le résultat de processus complexes, dont il est parfois difficile de tirer des conclusions.

Enfin, dans un rapport publié en mars 2021, le Parlement européen a notamment indiqué que les normes révisées en matière de qualité de l'air et les exigences en matière de surveillance devraient couvrir également d'autres polluants ayant des incidences négatives démontrées sur la santé et l'environnement dans l'UE, tels que l'ammoniac. Il a également souhaité attirer l'attention sur le fait que, dans les zones urbaines, les émissions de NH_3 sont responsables de près de la moitié des répercussions de la pollution de l'air sur la santé, étant donné que le NH_3 est un précurseur des particules, et a demandé à la Commission et aux États membres d'étudier les possibilités d'utiliser la directive relative aux émissions industrielles pour atténuer ces émissions.

Réglementation et objectifs de réduction

Différentes réglementations visant la qualité de l'air ont été mises en place aux niveaux international, européen, national, régional ou infrarégional. Parmi ces réglementations, certaines fixent des engagements de réduction d'émissions de NH_3 ou des plafonds d'émissions à ne pas dépasser.

Le premier objectif de réduction des émissions de NH_3 a été fixé par le protocole de Göteborg pour l'année 2010. Ce plafond, fixé à 780 kt NH_3, a été largement respecté, les émissions n'ayant jamais atteint ce niveau sur la période inventoriée. Amendé en 2012, le protocole propose de nouveaux objectifs plus ambitieux, avec un engagement de réduction des émissions de NH_3 de 4% en 2020 par rapport à 2005, c'est-à-dire un plafond calculé de 646 kt.

Cet objectif est repris au niveau européen dans la directive NEC (*National Emission Ceilings*), dont la révision en 2016 (Directive UE 2016/2284) a ajouté un objectif de réduction d'émissions de NH_3 à horizon 2030, fixé à 13% par rapport à 2005 pour la France (soit un plafond calculé de 586 kt).

Enfin cet objectif a été inclus au niveau national dans le Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) adopté par le gouvernement français en 2017. Un objectif intermédiaire a été ajouté dans le PREPA pour 2025, correspondant à un plafond de 619 kt NH_3 (baisse de 8% par rapport à 2005).

L'article 268-I de la loi climat et résilience prévoit la définition, par décret, des trajectoires annuelles de réduction des émissions d'ammoniac (NH_3) du secteur agricole jusqu'en 2030 permettant d'atteindre progressivement l'objectif d'une réduction de 13% des émissions de NH_3 en 2030 par rapport à 2005. Cet objectif est celui fixé pour la France par la directive dite NEC 2 (directive (UE) 2016/2284 fixant les plafonds nationaux d'émissions pour cinq polluants dont le NH_3). Le décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 (publié au JO du 27) est venu définir les trajectoires annuelles de réduction des émissions de NH_3 du secteur agricole jusqu'en 2030.

Les objectifs annuels de réduction des émissions de NH_3 du secteur agricole par rapport à 2005 sont définis dans le tableau ci-dessous, exprimés en pourcentage de réduction par rapport aux émissions de l'année 2005.

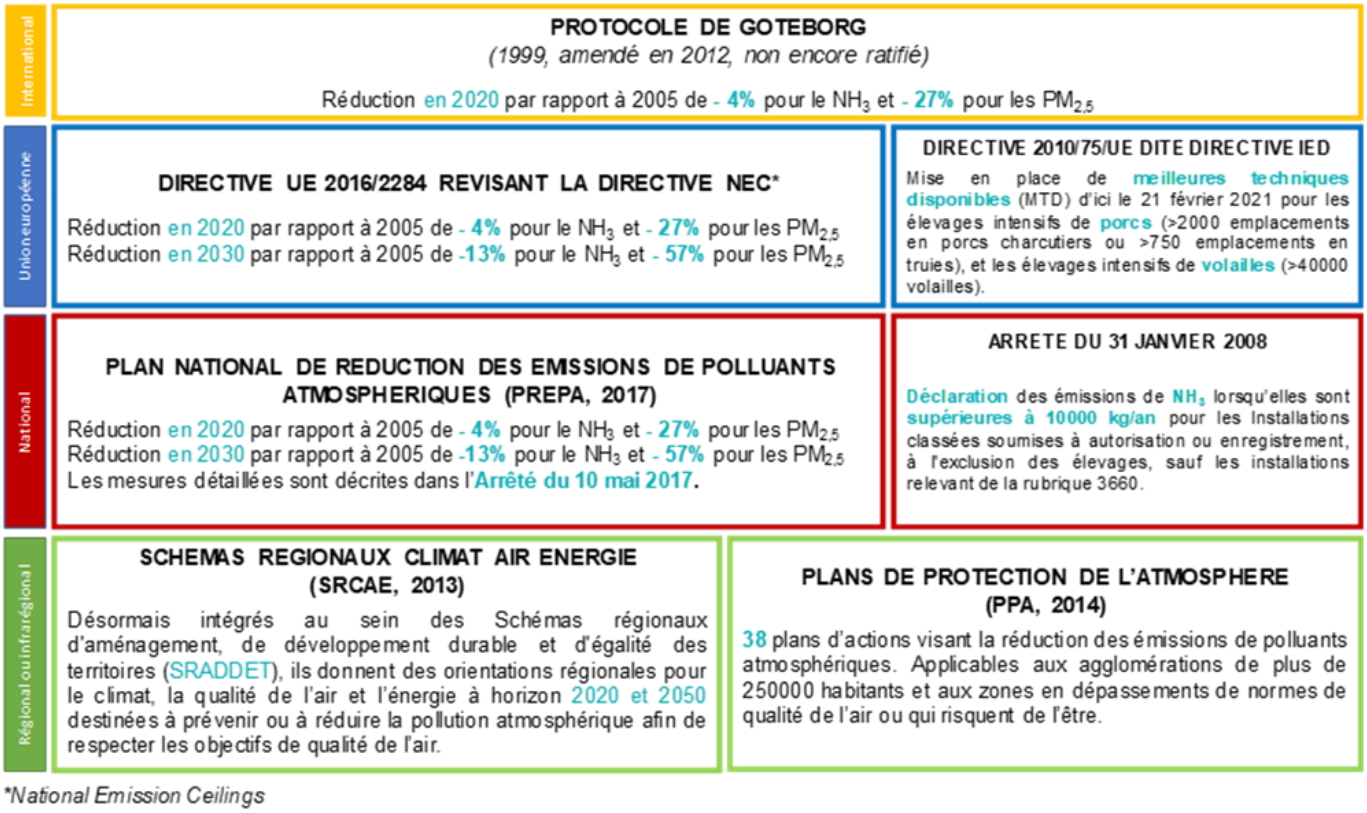
Ces objectifs ont été définis en cohérence avec le PREPA, lui-même en cohérence avec les plafonds de la directive NEC 2.

A noter enfin que l'article 268 de la loi climat et résilience prévoit également la présentation au Parlement d'un rapport consacré au suivi du plan d'actions national (prévu par l'article L. 255-1-1 du Code rural et de la pêche

maritime, en vue de la réduction des émissions de NH_3 et de N_2O liées aux usages d'engrais azotés minéraux) et le suivi du respect de la trajectoire de réduction des émissions de NH_3 et de N_2O du secteur agricole.

Ammoniac (NH3)	2005	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
émissions historiques (kt NH3 / an)	653	530	527							
objectif de réduction en % par rapport à 2005		5,5%	6,4%	7,3%	8,3%	9,2%	10,2%	11,1%	12,1%	13,0%
objectif d'émissions à ne pas dépasser en kt NH3		617	611	605	599	593	586	581	574	568

Objectifs de réduction des émissions agricoles de NH_3. Source : décret n°2022-1654, article 3 et Citepa, rapport Secten éd. 2025.



Réglementations visant le NH_3 à différentes échelles

Une gestion intégrée de l'azote

Tout comme les autres composés azotés, les enjeux liés aux émissions de NH_3 doivent être pensés dans le contexte plus large du cycle de l'azote, pour éviter tout transfert de pollution. L'azote est un nutriment majeur, tant au niveau de la production d'aliments, de fibres ou encore de biocombustibles. Il se présente sous des formes variées, certaines non réactives (N_2), et d'autres, comme le NH_3, réactives, souvent perdues sous forme de pollution de l'air ou de l'eau. Depuis plusieurs années, différentes initiatives voient le jour pour favoriser une gestion intégrée de l'azote, en optimisant son efficacité d'utilisation, jugée faible à l'heure actuelle si l'on considère la chaîne complète de la fertilisation à la consommation humaine et aux déchets.

En particulier, dans le cadre de la Convention CEE-NU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, un groupe dédié à l'azote (*Task Force on Reactive Nitrogen - TFRN*) a été créé pour développer des informations techniques et scientifiques afin d'élaborer des stratégies à l'échelle de la CEE-NU pour encourager la coordination des politiques de pollution de l'air sur l'azote dans le contexte du cycle de l'azote. Parmi les publications phares de la TFRN, citons le document « *Option for Ammonia Mitigation* » dédié aux pratiques pour réduire le NH_3 en agriculture. Plus récemment, ce groupe a été mandaté pour produire un document d'orientation sur la gestion intégrée durable de l'azote.

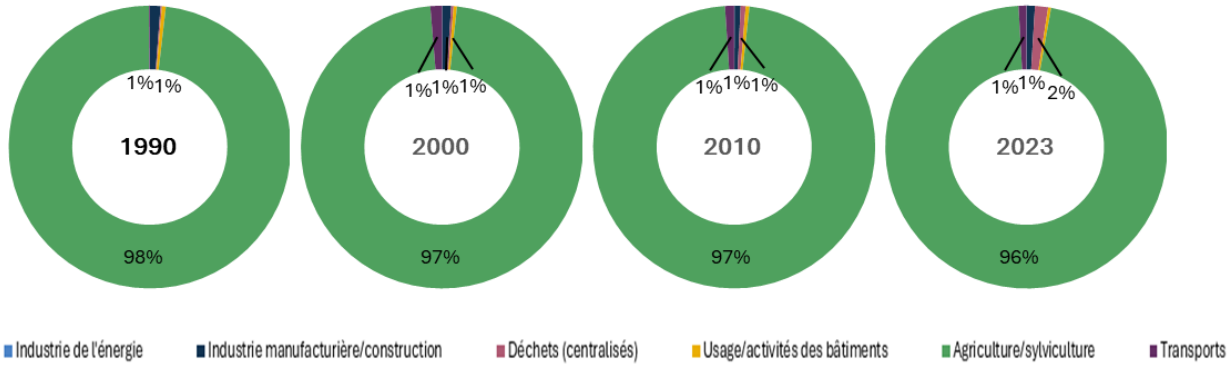
Ce principe de gestion intégrée des nutriments est également inclus dans le pacte vert pour l'Europe (*European Green Deal*), au sein de la stratégie nommée « Farm to Fork ». On peut y lire que la Commission agira pour réduire les pertes d'éléments nutritifs (dont l'azote) d'au moins 50%, tout en veillant à ce qu'il n'y ait pas de détérioration de la fertilité des sols. Cette diminution entrainerait alors une réduction du recours aux engrais d'au moins 20% d'ici 2030. Le document ne précise en

revanche pas l'année prise en compte pour le niveau de référence ni les types d'engrais visés (minéraux et/ou organiques). La Commission précise qu'il sera nécessaire d'élaborer avec les États membres des plans d'action, visant entre autres à promouvoir les techniques de fertilisation de précision et des pratiques agricoles plus durables, en particulier dans les zones sensibles d'élevage. La mise en œuvre française de la nouvelle mouture de la Politique agricole commune 2023-27 (PAC) à travers le Plan stratégique national (PSN) a pour ambition de contribuer à l'atteinte des objectifs du pacte vert pour l'Europe, et pourrait contribuer à optimiser le cycle de l'azote grâce au soutien à la production de légumineuses, au développement de l'agriculture biologique ou encore à la diversification des cultures, à travers plusieurs instruments dont notamment l'écorégime.

Emissions hors-total

Conformément aux règles de rapportages des émissions nationales de polluants au titre de la CEE-NU, sont exclues du total national les émissions liées aux feux de forêt

Principaux secteurs émetteurs

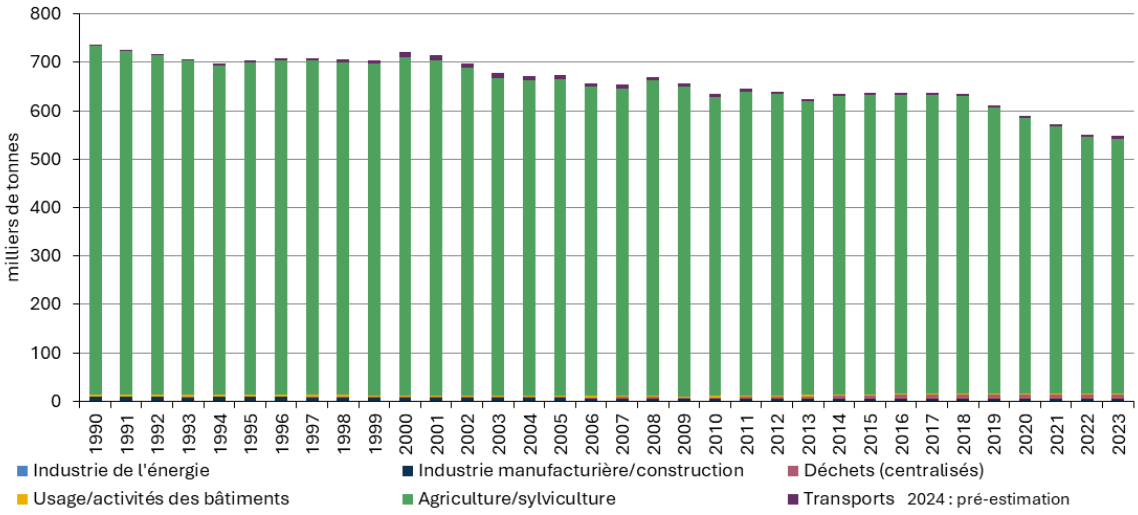


Répartition des émissions de NH_3 en France

Tendance générale

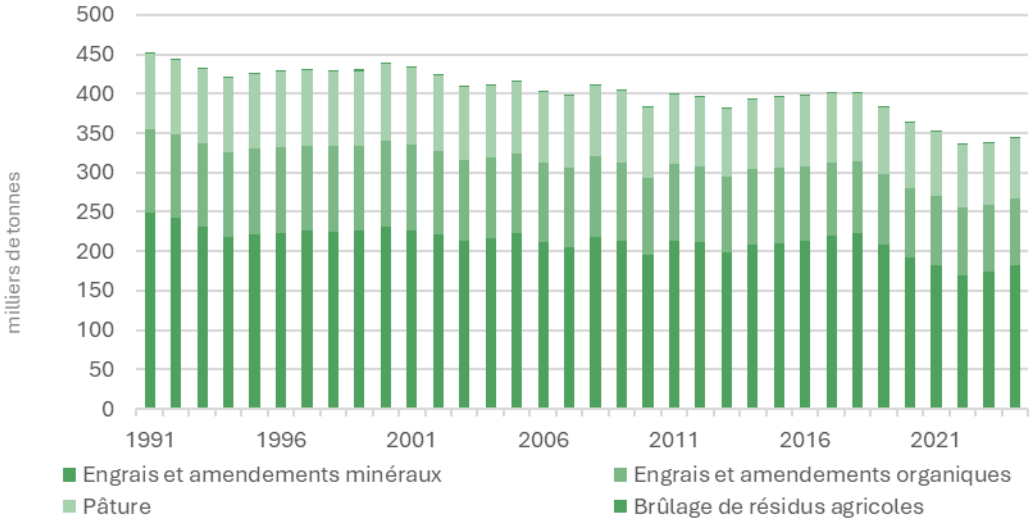
Entre 1990 et 2023, les émissions de NH_3 sont en baisse de 25% : elles sont passées d'environ 734 kt NH_3 en 1990 à 547 kt NH_3 en 2023.

La majeure partie des émissions de NH_3 provient du secteur de l'agriculture/sylviculture : il représente, en 2023, 96% du total national. Au sein du secteur, en 2023, les principaux postes contribuant aux émissions sont en premier lieu l'apport d'engrais et d'amendements minéraux (32% des émissions du secteur), suivi de la gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage (21% des émissions du secteur), puis de l'apport d'engrais et d'amendements organiques (16% des émissions du secteur) et des animaux à la pâture (14% des émissions du secteur). Les émissions restantes concernent principalement la gestion des déjections des animaux hors bovins au bâtiment et au stockage.



Evolution des émissions de NH_3 en France

La tendance générale est principalement dirigée par les évolutions du cheptel bovin, en particulier les vaches laitières, et par la quantité d'engrais azotés minéraux épandus. La fertilisation azotée minérale est le premier poste contribuant à la baisse sur la période : les émissions associées ont diminué de 83 kt entre 1990 et 2023 (dont 50 kt entre 2018 et 2023), soit 32% de baisse. Pour ce poste, les variations d'émissions de NH_3 interannuelles proches (entre l'année n et l'année n+1) s'expliquent en partie par les fluctuations des livraisons d'engrais. Les évolutions en termes d'émissions sur ce poste sont également liées aux variations du mix des engrais utilisés. En effet, la forme des engrais influe fortement sur les émissions : l'utilisation d'engrais sous forme d'urée est en recul ces dernières années, cette forme étant globalement plus émettrice que les ammonitrates par exemple, les émissions s'en trouvent impactées à la baisse. Parmi les autres postes contribuant à la baisse des émissions, on retrouve la gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage : les émissions de NH_3 de ce poste ont diminué de 29% entre 1990 et 2023, soit - 46 kt, principalement du fait d'une érosion du cheptel.

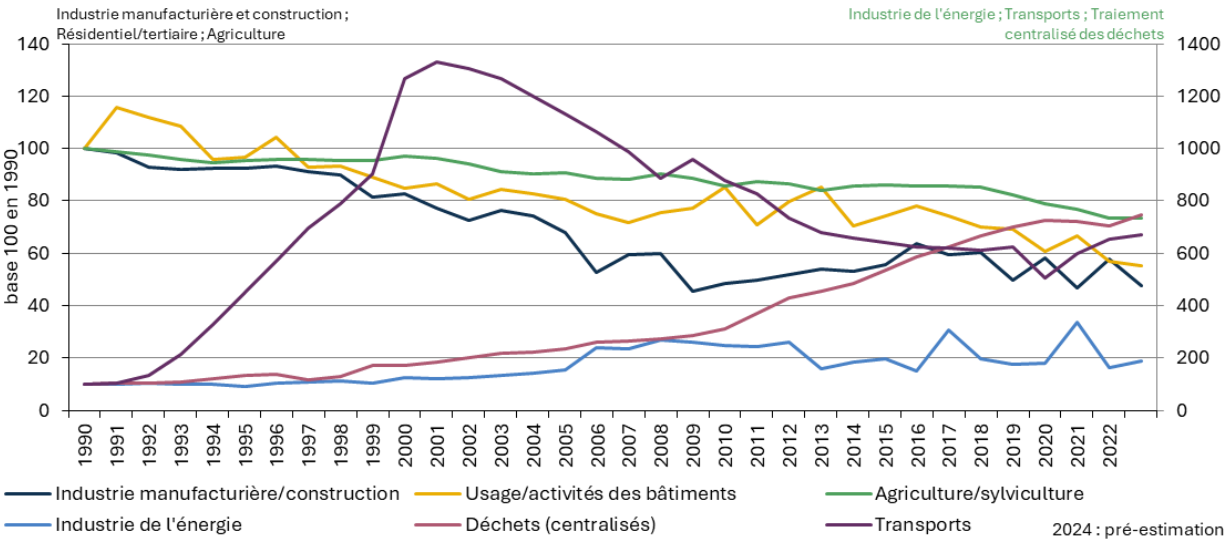


Émissions de NH_3 du secteur des cultures, par poste, en tonnes de NH_3

Concernant les autres postes agricoles, des réductions notables se retrouvent également chez les porcins, notamment du fait de la progression de l'alimentation biphase et du traitement des effluents par nitrification-dénitrification, et enfin au niveau des volailles, avec la disparition progressive jusqu'en 2006 des systèmes en fosse profondes chez les poules pondeuses (systèmes très émetteurs) et l'ajustement de l'alimentation aux besoins en azote induisant une baisse de l'azote excrété pour certaines catégories de volailles.

Enfin, parmi les autres secteurs émetteurs de NH_3, on retrouve le transport routier, qui, malgré sa faible contribution, a connu une hausse entre 1993 et 2001 avec

l'introduction des premiers véhicules catalysés en 1993. La baisse observée depuis 2002 s'explique par l'introduction dans le parc roulant (véhicules particuliers et utilitaires légers) de véhicules de type Euro 3 et Euro 4, moins émetteurs. Cette baisse devrait cependant s'atténuer du fait de la mise en place de systèmes SCR (*Selective Catalytic Reduction*) sur les véhicules lourds et légers.



Evolution des émissions dans l'air de NH_3 en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

Sur ces dernières années (2018-2023), le repli plus prononcé des émissions s'explique par un recul des émissions en agriculture. Pour l'apport d'engrais et d'amendements minéraux, les émissions se sont repliées de 22% entre 2018 et 2023, en lien avec la hausse des prix des engrais. Sur la même période, les émissions de l'élevage sont également en recul, notamment pour les bovins (- 12%).

La profession agricole entreprend des efforts de réduction des émissions. Des progrès ont déjà été accomplis par le secteur, par exemple au niveau de l'alimentation animale avec l'ajustement des apports protéiques dans les rations, au niveau du bâtiment avec la mise en place de laveurs d'air, au niveau du stockage par la couverture de fosse et au niveau de l'épandage avec l'utilisation de matériels moins émissifs. Avec la publication du plan matériels d'épandage moins émissifs, le développement des bonnes pratiques à l'épandage devrait sans doute se poursuivre. Selon les techniques à mettre en place, les coûts associés peuvent être très importants. De tels investissements peuvent à l'heure actuelle être soutenus par le biais de plans de compétitivité et d'adaptation des exploitations agricoles (PCAE). En revanche, dans la Politique Agricole Commune actuelle (2014-2020), il n'existe pas de mesures financières ciblant exclusivement la réduction des émissions de NH_3 et l'amélioration de la qualité de l'air.

L'année 2023 correspond au niveau le plus bas atteint sur la période, avec 547 kt NH_3, en lien principalement avec la guerre en Ukraine qui perturbe fortement les marchés agricoles avec un prix des céréales mais également des engrais, en forte hausse.

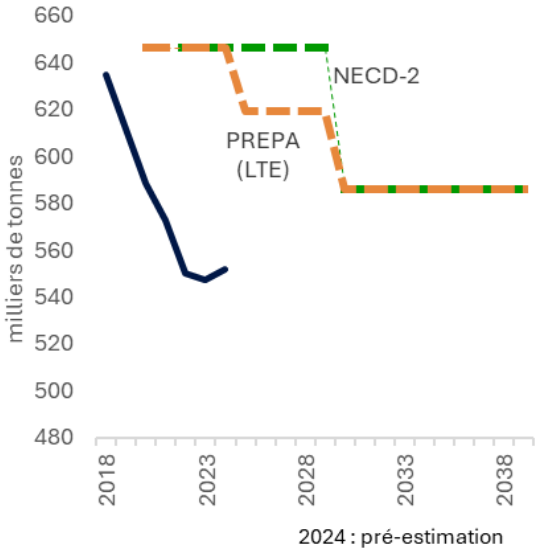
Les pré-estimations d'émission de NH_3 pour 2024 voient principalement le secteur agricole contribuer à l'évolution. Pour ce secteur, la tendance devrait s'inverser avec une légère hausse sur 2023-2024 (+ 0,8%) avec une reprise des émissions de NH_3 des engrais minéraux (+ 5,0%) en lien avec une hausse des apports annuels par rapport à 2023 et un usage plus important d'urée dont le facteur d'émission est supérieur à celui des ammonitrates. Cette reprise est partiellement compensée en termes d'émission par un maintien des tendances à la baisse sur les émissions de l'élevage et des épandages organiques.

Atteinte des objectifs

En 2023, les émissions nationales de NH_3 sont estimées, hors UTCATF, à 547 kt, soit en repli de 19% par rapport à 2005. Ce niveau est donc déjà inférieur à l'objectif 2030 (-13% par rapport à 2005).

Pour rappel, le principal secteur émetteur de NH_3 est le secteur agricole, représentant 96% des émissions en 2023. Les émissions de ce secteur sont en baisse en lien avec la décapitalisation du cheptel bovin et le recul de la fertilisation minérale, dans un contexte de prix des intrants agricoles très élevés. Au regard de ce contexte, il paraît probable que la trajectoire réglementaire soit atteinte à horizon 2030 (13%). L'année 2024 semble toutefois marquer un arrêt à la tendance baissière observée depuis 2018.

Aussi, les efforts doivent se poursuivre pour continuer à réduire l'intensité des émissions par l'adoption de bonnes pratiques, comme mentionnées dans le PRÉPA : utilisation de formes d'engrais moins émissives, recours à du matériel d'épandage moins émissif (pendillards, injecteurs, enfouissement post-épandage rapide), contrôle de l'interdiction des épandages aériens, financement de projets pilotes et mobilisation des financements (exemple des projets AGR'AIR, AgriQair). Un accompagnement du secteur agricole est également prévu dans le plan pour la diffusion des bonnes pratiques avec, entre autres, la diffusion en 2019 d'un guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air composé de 14 fiches pratiques à destination des agriculteurs et des conseillers agricoles.



Emissions de NH_3 et objectifs nationaux

À noter également la mention de l'importance de réduire les émissions de NH_3 au sein de la **loi Climat et résilience**. L'article 268 mentionne la mise en place par décret d'une trajectoire annuelle de réduction des émissions de NH_3 du secteur agricole qui devrait permettre d'atteindre progressivement l'objectif de réduction fixé dans le cadre de la NEC.

La proposition initiale de la Convention Citoyenne pour le Climat d'augmenter la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP), déjà appliquée aux producteurs d'engrais, n'a pas été reprise.

Situation dans l'UE

Le 3 mars 2025, la Commission européenne a publié la 4e édition de son rapport biennal « Perspectives en matière d'air propre ». Le rapport indique que les inventaires de 2024 font état de légères améliorations, bien que le respect des valeurs limites pour l'ammoniac reste problématique, huit États membres n'honorant toujours pas leurs engagements de réduction. Comme indiqué plus haut, la France ne fait plus partie de cette liste, les émissions d'ammoniac étant déjà inférieures à l'objectif 2030 fixé.

COVNM | Composés organiques volatils

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Selon la Directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, les composés organiques sont définis de la manière suivante :

Tout composé contenant au moins l'élément carbone et un ou plusieurs des éléments suivants : hydrogène, halogènes, oxygène, soufre, phosphore, silicium ou azote, à l'exception des oxydes de carbone (composés chimiques constitués d'une combinaison d'atomes de carbone et d'oxygène uniquement) et des carbonates et des bicarbonates inorganiques. Parmi ces composés organiques, on distingue les composés organiques volatils qui sont eux-aussi définis dans la directive n°2010/75/UE, modifiée par la Directive 2024/178/UE : Tout composé organique à l'exclusion du méthane, ayant une pression de vapeur ≥ 0,01 kPa (10 Pa) à une température de 293,15 K (20°C) ou une volatilité correspondante dans des conditions d'utilisation particulières.

Les COVNM sont notamment issus des phénomènes de combustion, d'évaporation, de réactions chimiques ou biologiques ou de l'utilisation de ces composés en tant que solvants.

Origine
Sources anthropiques : procédés industriels impliquant des solvants (chimie de base, chimie fine, dégraissage des métaux, application de peintures, encres, colles, etc.), raffinage de pétrole, production de boissons alcoolisées et de pain, installations de combustion industrielles et équipements de combustion domestiques au bois, distribution des carburants et usages domestiques de solvants.

Sources naturelles : COV biotiques issus des forêts, prairies et cultures.

Phénomènes associés
Les COVNM interviennent notamment dans le cycle de l'ozone troposphérique, sous l'effet du rayonnement solaire et en présence de NO_x. Ce sont aussi des précurseurs d'aérosols secondaires.

Effets

Précurseur d'ozone

Effet de serre indirect

Santé (difficultés respiratoires, irritations oculaires, effets cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques, etc.)

Enjeux

Effets environnementaux et sanitaires

Les COVNM interviennent dans le cycle de l'ozone troposphérique, sous l'effet du rayonnement solaire, en présence de NO_x. Ce sont aussi des précurseurs d'aérosols secondaires.

De plus, les COVNM sont une famille intégrant de nombreux composés aux compositions chimiques extrêmement variables et ayant par conséquent des effets sanitaires très variés tels que l'irritation cutanée ou des yeux, les troubles cardiaques, digestifs, rénaux, ou encore les actions cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques.

Objectifs de réduction

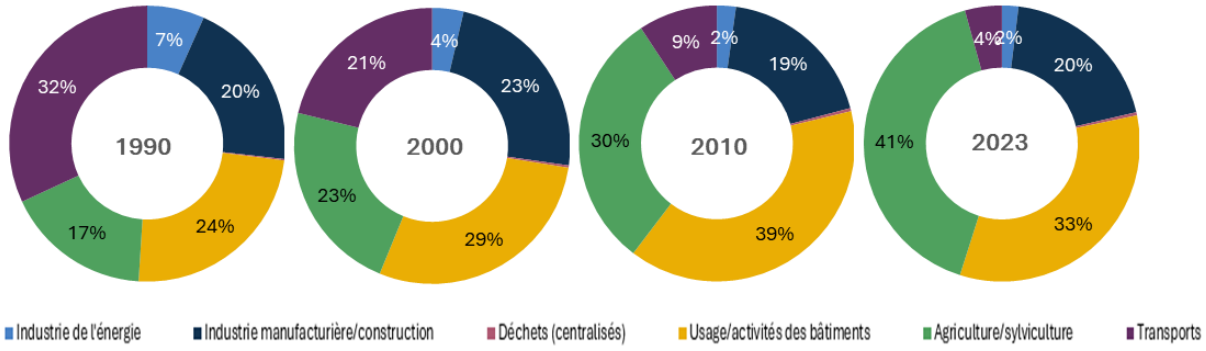
La première directive NEC (*National Emission Ceilings* communément appelée NECD, adoptée en de 2001 (2001/81/CE), avait repris les plafonds du Protocole de Göteborg en en sévérisant d'ailleurs certains. La Commission européenne a présenté un nouveau programme « Clean Air for Europe » le 13 décembre 2013, ainsi qu'une proposition de révision de la directive NEC, devant les progrès à réaliser pour limiter les impacts de la pollution sur les écosystèmes et la santé humaine. Ce texte a été adopté le 14 décembre 2016 en tant que directive (UE) 2016/2284 concernant la réduction des émission nationales de certains polluants atmosphériques. Cette dernière fixe les engagements de réduction d'émissions pour chaque État membre et pour cinq polluants : SO_2, NO_x, COVNM, $PM_{2.5}$ et NH_3 à l'horizon 2020 et 2030 par rapport à l'année de référence 2005. Ainsi les objectifs fixés pour la France, concernant ses émissions de COVNM, sont une réduction de 43% pour 2020 et de 52% pour 2030 par rapport à l'année 2005.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

► Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 58,2% en 2023.

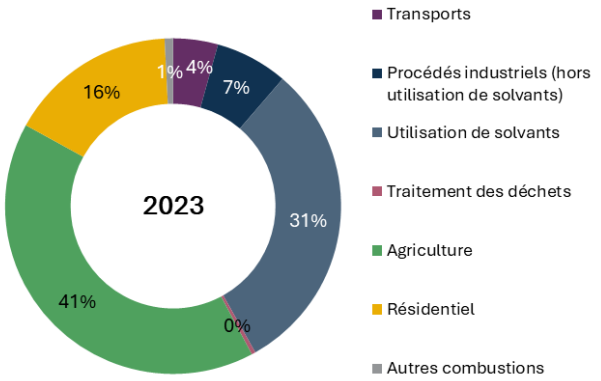
Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de COVNM en France

L'agriculture (environ 41%) et l'utilisation domestique et industrielle des solvants (environ 31%) sont les deux principales sources de COVNM en 2023. Les émissions de COVNM dans le secteur résidentiel sont dominées par l'activité de chauffage et de cuisson domestique (46%), ainsi que par l'utilisation de produits domestiques (47%) et de produits tertiaires (4%), y compris des solvants, peintures, aérosols et anesthésie.

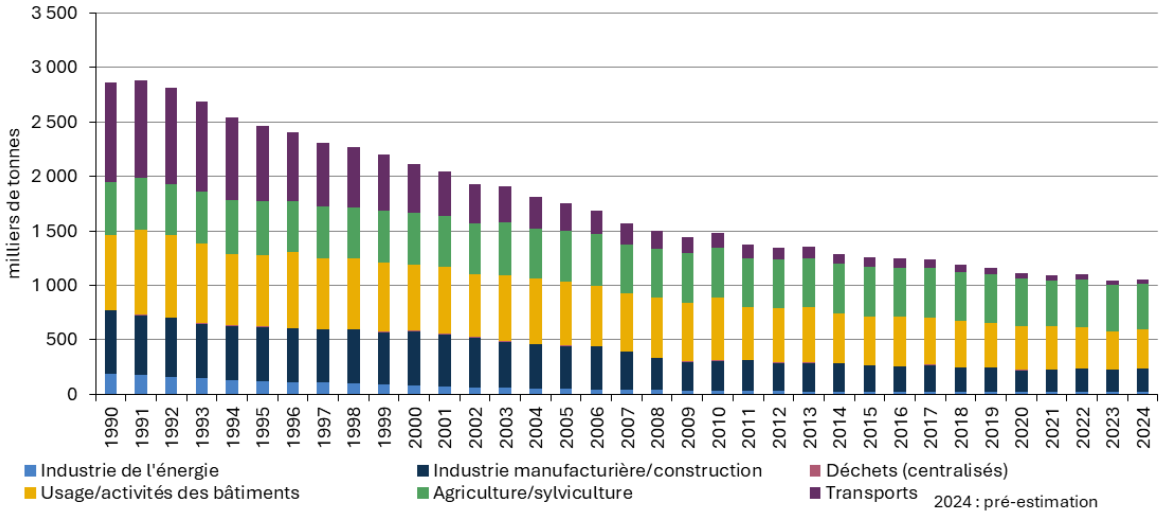
Des sources naturelles (biogéniques) de COVNM sont aussi comptabilisées en hors-total (voir plus bas).



Tendance générale

La baisse des émissions de COVNM a commencé dès 1992, sans interruption jusqu'en 2010 avec les diminutions annuelles les plus fortes observées en 2007 et 2011, d'environ 7% des émissions de l'année précédente.

Globalement, la baisse des émissions, de 64%, constatée entre 1990 et 2023 s'explique par une réduction d'activité, dans chacun des secteurs, détaillés ci-après :



Evolution des émissions de COVNM en France

Transport routier (-95% entre 1990 et 2023) : la baisse constatée est liée, d'une part, à l'équipement des véhicules essence en pots catalytiques depuis 1993, qui deviennent de plus en plus performants, auquel s'ajoute

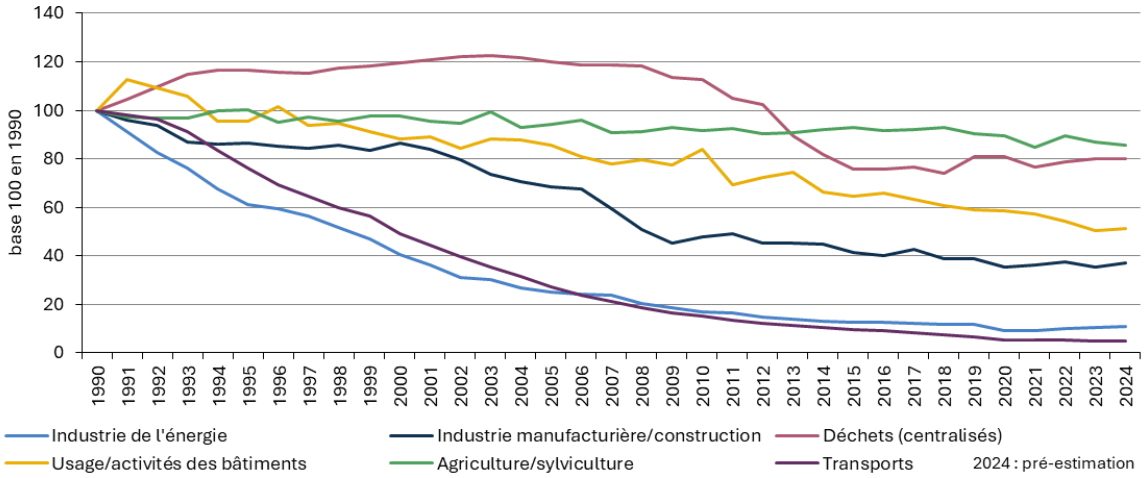
la gestion des évaporations de ces véhicules équipés de filtre à charbon actif dans les réservoirs, et, d'autre part, à la part croissante de véhicules diesel moins émetteurs de COVNM ou de véhicules électriques.

Résidentiel/tertiaire (-50% entre 1990 et 2023) : la diminution constatée est liée à la substitution des produits contenant des solvants par des produits à plus faible teneur en COV ou sans solvant (peintures à l'eau, par exemple). Des progrès sont également accomplis dans le domaine de la combustion de la biomasse du fait du renouvellement du parc par des appareils plus performants et moins émetteurs. Il faut noter que l'augmentation de la consommation de gel hydroalcoolique durant la pandémie (2020-2021) a atténué la baisse des émissions de ce secteur, limitée à environ 1% en 2020 et 2% en 2021, contre 3% en 2019. Par la suite, lorsque l'activité est retournée à la normale, les émissions de COVNM ont continué à diminuer, d'environ 7% entre 2022 et 2023.

Industrie manufacturière (-65% entre 1990 et 2023) : d'importants progrès ont été réalisés dans de nombreux secteurs pour réduire les émissions à la source et diverses techniques de réduction ont été mises en œuvre sur certains procédés, conformément à la réglementation en vigueur.

Industrie de l'énergie (-90% entre 1990 et 2023) : des améliorations ont été obtenues en matière de stockage et de distribution des hydrocarbures, et l'ensemble des mines de charbon a fermé, la dernière datant de 2004.

Agriculture et sylviculture (-13% entre 1990 et 2023) : les émissions de COVNM en agriculture sont équitablement réparties entre élevage et culture, avec une contribution faible des engins, moteurs et chaudières. Les réductions constatées sont à mettre en lien avec le recul du cheptel, et, pour la partie énergie, avec le renouvellement du parc des engins agricoles dont les normes d'émissions à l'échappement ont été sévérisées au cours du temps.

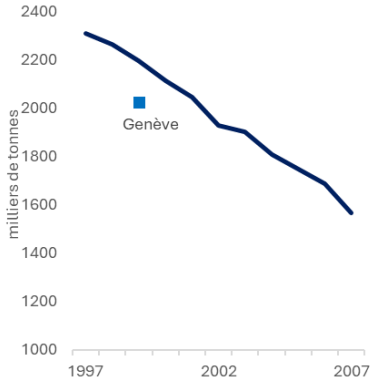


Evolution des émissions dans l'air de COVNM en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Atteinte des objectifs

Protocole de Genève

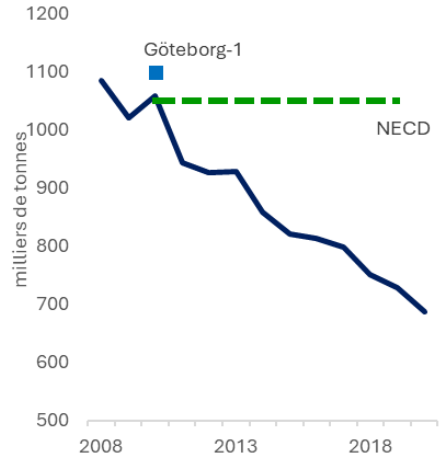
Le protocole de Genève adopté en 1991 fixait un objectif d'émissions de COVNM à ne pas dépasser en 1999 d'environ 2 Mt. Les émissions pour cette année dépassent ce seuil avec une valeur d'environ 2,2 Mt. Cet objectif n'a donc pas été respecté. Il faut attendre 2002 pour que ce niveau soit respecté.



Emissions de COVNM et objectif du Protocole de Genève

Göteborg-1 et NECD-1

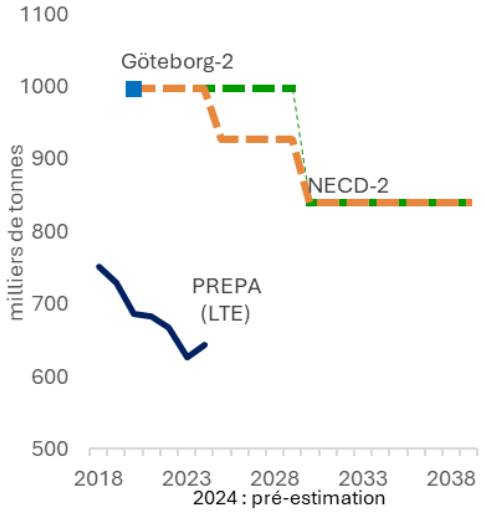
Les objectifs du Protocole de Göteborg initial (Göteborg-1) et de la Directive NEC-1 ont été respectés, avec des niveaux d'émissions ajustées (c'est-à-dire exprimées dans un périmètre comparable) inférieurs aux objectifs.



Emissions de COVNM et objectifs Protocole de Göteborg et NECD

Göteborg-2 et NECD-2

En 2020, la France a émis 1 115 kt de COVNM, soit une diminution des rejets de 36% par rapport à 2005 (versus objectif de réduction d'au moins 43%). Toutefois, ces objectifs de réduction des émissions des COVNM 2020 et 2030 en relatif ont été fixés sans prise en compte des COVNM biogéniques de l'agriculture. Ainsi, un ajustement est soumis par la France pour l'évaluation du respect des objectifs de réductions sur un périmètre homogène, c'est-à-dire sans les COVNM biogéniques de l'agriculture.



Emissions de COVNM et objectifs Protocole de Göteborg-2 et NECD-2

Les émissions ajustées, comparables aux objectifs, s'élèvent à 687 t de COVNM en 2020, respectant l'objectif de Göteborg-2. Les plafonds de la NECD-2, et du PREPA, sont aussi respectés.

Si les émissions après ajustement se maintiennent à ce niveau voire diminuent, l'objectif 2030 serait également respecté.

Évolution récente

Bien que les émissions de COVNM soient en forte baisse depuis 1990, cette tendance s'est fortement ralentie depuis 2010.

Entre 2010 et 2020, les émissions continuent toutefois de se replier à un rythme de moyen de 2% par an, notamment dans les deux secteurs de l'industrie de l'énergie (-6% en moyenne/ an) et du transport (-10% en moyenne/ an). En revanche, les émissions du secteur agricole suivent une tendance plus ou moins stable (-- 0,3% en moyenne/ an).

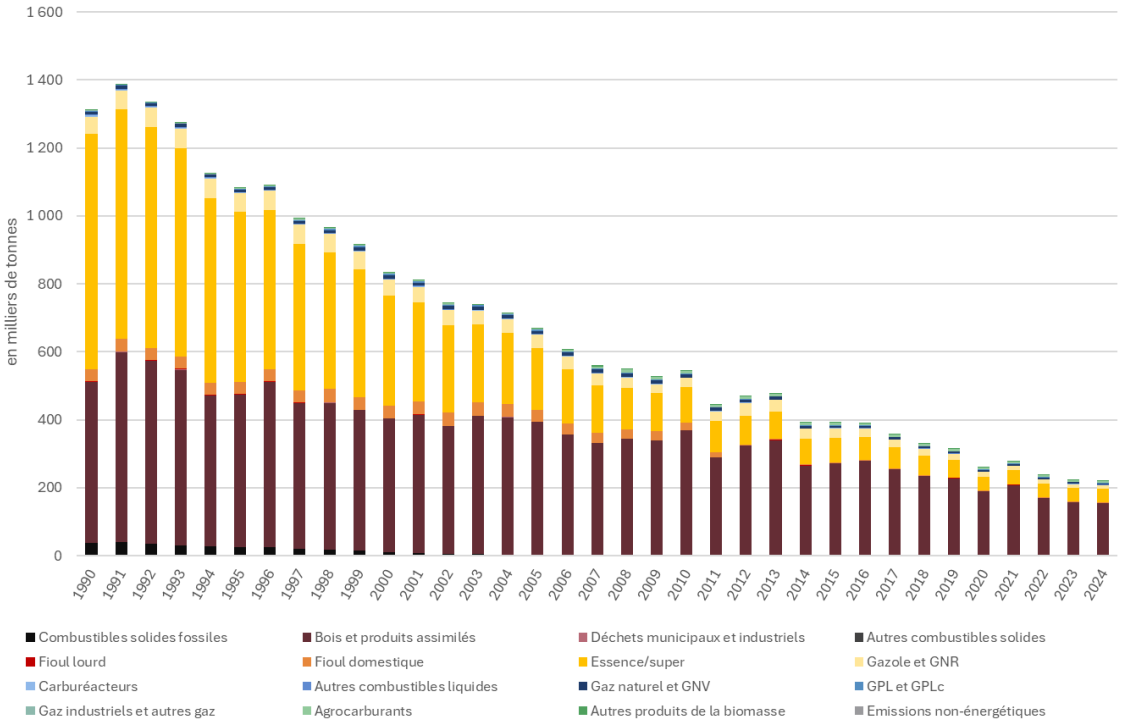
De façon générale, une stabilisation des émissions de COVNM (de moins de ± 10%) entre 2021 et 2023 est observée dans tous les secteurs.

Spéciation

La spéciation de COVNM est réalisée à partir de profils de répartition des émissions déterminées par catégorie de COVNM pour un grand nombre d'activités émettrices. La quasi-totalité des émissions de COVNM en France métropolitaine est ainsi couverte par un profil. Le fichier « *19_Citepa_COVNM_speciation_&_Solvants_ed2025_d .xlsx*», présente le détail des émissions de COVNM par famille chimique et par activité dans les différents secteurs.

Part des émissions liées aux combustibles

En 2023, environ 21% des émissions totales de COVNM sont liées à l'utilisation des combustibles, dont 70% proviennent de l'utilisation de bois, ce qui représente 15% des émissions nationales totale.



Répartition des émissions de COVNM par combustible en France (Métropole)

CO | Monoxyde de carbone

Type
Polluant atmosphérique et gaz à effet de serre indirect

Définition
Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz incolore et inodore essentiellement formé de manière anthropique. A forte concentration en milieu confiné, il peut être mortel.

Composition chimique
Un atome d'oxygène et un atome de carbone.

Origine
Sources anthropiques : formation de CO lors de combustions incomplètes de tout combustible fossile ou non (gaz, charbon, fioul ou bois) dans le trafic routier (gaz d'échappement) et le chauffage résidentiel (bois notamment) ; procédés industriels (métallurgique).

Source naturelle : aucune.

Phénomènes associés
Le CO participe à la formation d'ozone troposphérique. Son oxydation aboutit aussi à la formation de CO_2, principal gaz à effet de serre.

Effets

Précurseur d'ozone

Acidification

Effet de serre

Santé (intoxications causant maux de têtes et vertiges, nausées voire un effet asphyxiant mortel. Le CO se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang.)

Enjeux

Effets sanitaires et environnementaux

Effets sur la santé

Le monoxyde de carbone, résultat de la combustion incomplète, est un gaz toxique pouvant causer des intoxications mortelles chez l'Homme.

Le monoxyde de carbone se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang. À fortes teneurs et en milieu fermé, le monoxyde de carbone peut causer des intoxications oxycarbonées provoquant des maux de tête, des nausées, des vomissements et des vertiges, le coma ou la mort pour une exposition prolongée. La gravité des symptômes est fonction de la quantité de CO fixée par l'hémoglobine, soit de la durée d'exposition et de la concentration de monoxyde de carbone inhalée.

Une fois inhalé et absorbé au niveau pulmonaire, le monoxyde de carbone gagne la circulation sanguine où il entre en compétition avec l'oxygène. En effet, l'affinité du monoxyde de carbone pour l'hémoglobine est 230 fois supérieure à celle de l'oxygène. Il se fixe donc facilement sur l'hémoglobine pour former une molécule stable, la carboxyhémoglobine (HbCO). Ce phénomène entraîne une diminution de la capacité sanguine à transporter l'oxygène, une plus grande difficulté à relarguer l'oxygène au niveau tissulaire et une asphyxie parfois mortelle (Santé Publique France).

Chaque année, environ 1 300 épisodes d'intoxications au CO survenus par accident et impliquant près de 3 000 personnes sont déclarés aux autorités sanitaires (Santé Publique France).

A l'échelle mondiale, des données épidémiologiques mondiales existent et ont été obtenues grâce au registre de données *Global Health Data Exchange*. Cette base de données gérée par l'Institut de Mesure et d'Evaluation de la Santé. Selon les données considérées, pour un million de personnes on compte 137 cas d'intoxications au monoxyde de carbone, dont 4,6 décès. L'incidence des intoxications au monoxyde de carbone est stable depuis 25 ans, tandis que la mortalité due aux intoxications au CO a diminué de 36%. (Mattiuzzi C., Lippi G., 2019)

Dans l'atmosphère ouverte, ses concentrations, même dans les villes polluées, n'atteignent pas des seuils présentant des dangers de toxicité.

Enjeux environnementaux

Le monoxyde de carbone participe à la formation de l'ozone troposphérique (O_3) et son oxydation aboutit à la formation de dioxyde de carbone (CO_2).

Dans l'atmosphère, après le CO_2, le composé carboné oxydé le plus important est le CO qui est, comme indiqué plus haut, émis directement lors des processus de combustion incomplète des hydrocarbures fossiles ou de la biomasse et, d'autre part, produit dans l'atmosphère lors de l'oxydation par le milieu atmosphérique du méthane ou d'autres hydrocarbure (l'isoprène par exemple).

Ces émissions de CO sont toutefois contrebalancées par une perte importante de CO lors de sa réaction

d'oxydation avec le radical OH (hydroxyle) qui est la principale cause de la disparition du CO.

$$CO\ (g) + OH(\cdot) \rightarrow CO_2\ (g) + H(\cdot)$$

Dans des proportions moindres, les dépôts au sol et les flux de CO de la troposphère vers la stratosphère contribuent également à ces pertes de CO.

L'oxydation d'une molécule de CO conduit également à la formation d'une molécule d'ozone. Le CO est donc un des principaux gaz précurseurs de l'ozone photochimique dans la troposphère.

Enjeux politiques

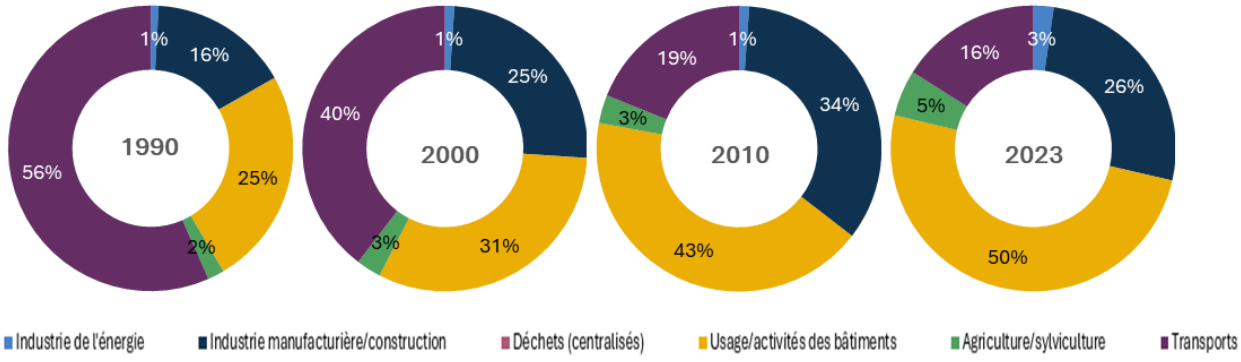
Aucun objectif de réduction ou limite d'émission de CO ne doit être respecté par la France.

Incertitude

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 53%.

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Principaux secteurs émetteurs

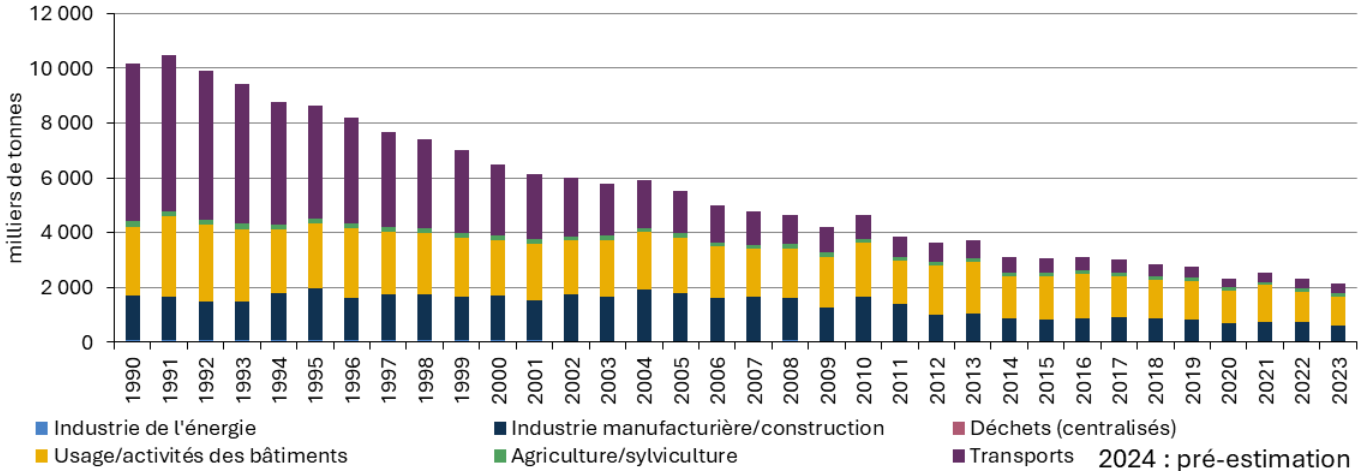


Répartition des émissions de CO en France

Tendance générale

Selon les décennies, la répartition des émissions de monoxyde de carbone (CO) fluctue entre secteurs mais celles-ci ont globalement augmenté entre 1960 et 1973, et sont en baisse depuis.

Entre 1990 et 2023, les émissions sont passées de 10 Mt à 2 Mt, soit une réduction de 79%. Ces variations s'expliquent par les évolutions dans trois secteurs : les transports, le résidentiel-tertiaire et l'industrie manufacturière.



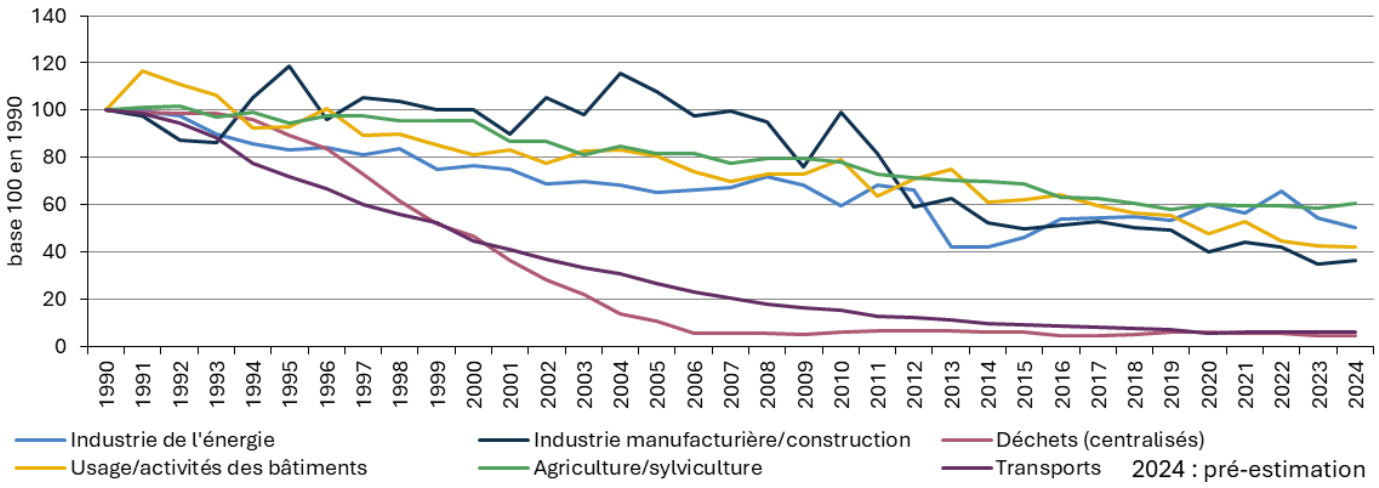
Evolution des émissions de CO en France métropolitaine

En 2023, le **résidentiel-tertiaire** représente 50% des émissions de CO et constitue, depuis 2002, le principal contributeur aux émissions nationales, devant le secteur des transports. La contribution de ce secteur aux émissions de CO s'explique principalement par la combustion du bois dans le résidentiel, en particulier

dans les foyers ouverts. Les émissions de CO du secteur résidentiel-tertiaire ont baissé de plus de 57% depuis 1990, malgré quelques légers rebonds observés depuis 2001. Entre 2022 et 2023, elles ont reculé de 4,4%.

En 2023, le deuxième contributeur national aux émissions de CO est le secteur de l'**industrie manufacturière**, avec 26% des émissions nationales. Depuis 1990, ses émissions ont fortement diminué (-65%), et enregistrent une baisse de plus de 17% entre 2022 et 2023. Cette réduction s'explique en grande partie par la baisse des émissions de la sidérurgie (fonte, acier, aggloméré), principal sous-secteur émetteur, qui représente près de 75% des émissions de CO du secteur en 2023. Entre 1990 et 2023, les émissions de CO de la sidérurgie ont chuté de près de 71%, avec une baisse notable de 21% entre 2022 et 2023. Cette tendance globale à la baisse s'est néanmoins accompagnée de pics marqués, notamment en 2004 et en 2010, reflétant les fortes variations de la production. Par ailleurs, les fluctuations annuelles de la valorisation des gaz sidérurgiques, qui influencent directement le facteur d'émission du CO, ont également contribué à ces évolutions.

Le **transport routier** occupe désormais la troisième place parmi les secteurs contributeurs aux émissions nationales de CO, avec 16% du total en 2023. Le secteur enregistre la plus forte baisse en valeur absolue depuis 1990, avec une réduction de plus de 5 000 kt, soit une diminution de 94% sur la période. Cette baisse a été continue entre 1990 et 2019, avant un net décrochage en 2020 lié à la crise de la Covid-19, suivi d'un rebond partiel des émissions. Depuis 2021, celles-ci se stabilisent entre 340 et 350 kt. Cette tendance à la baisse s'explique principalement par le renforcement progressif des normes environnementales appliquées aux véhicules routiers dès le début des années 1970, ainsi que par la généralisation des pots catalytiques : à partir de 1993 pour les véhicules essence, et à partir de 1997 pour les véhicules diesel. Les émissions de CO des autres sous-secteurs du transport (hors transport routier) diminuent également sur la période 1990-2023.



Evolution des émissions dans l'air de CO en base 100 en 1990 en France (Métropole)

A noter

Les émissions de polluants (comme le CO) des feux de forêts sont comptabilisées en dehors du total national, conformément aux règles de rapportage de la CEE-NU. Ces émissions hors total représentent environ 10% des émissions du total national dans les dernières années.

Évolution récente

Ces dernières années, une baisse progressive et substantielle des émissions au niveau national est observée, du fait d'évènements spécifiques.

En 2004, l'augmentation des émissions est liée en grande partie à une forte quantité de gaz de haut-fourneau produite et consommée, dont la part non valorisée est plus importante que les autres années. La crise économique de 2008 a fortement impacté le secteur sidérurgique dont les émissions en baisse sont particulièrement observables en 2009. En 2010, c'est suite à la reprise de l'activité sidérurgique que le secteur retrouve son niveau d'émissions avant crise. En 2012, la forte baisse des émissions observée au sein du secteur industriel s'explique par la fermeture, fin 2011, du site sidérurgique de Florange ainsi qu'une meilleure valorisation du gaz de haut-fourneau en sidérurgie.

Le sous-secteur du résidentiel est devenu le plus gros contributeur aux émissions de CO depuis quelques années. En cause, la combustion du bois dans les appareils de chauffage et notamment les foyers ouverts.

Des augmentations d'émissions sont observées certaines années, directement en lien avec l'augmentation de la consommation de bois dans ce secteur.

Part des émissions liées aux combustibles

L'écart important des émissions de monoxyde de carbone en fonction des combustibles considérés s'explique d'une part par la grande variabilité des dispositifs et des conditions de combustion et d'autre part, par les conditions de formation du CO.

En effet, dans des conditions d'apport de dioxygène (O_2) insuffisant, la combustion est incomplète et génère du CO au détriment du CO_2. De plus selon l'équilibre de Boudouard, une partie du dioxyde de carbone générée par la combustion est réduite par le carbone solide du combustible selon le mécanisme suivant :

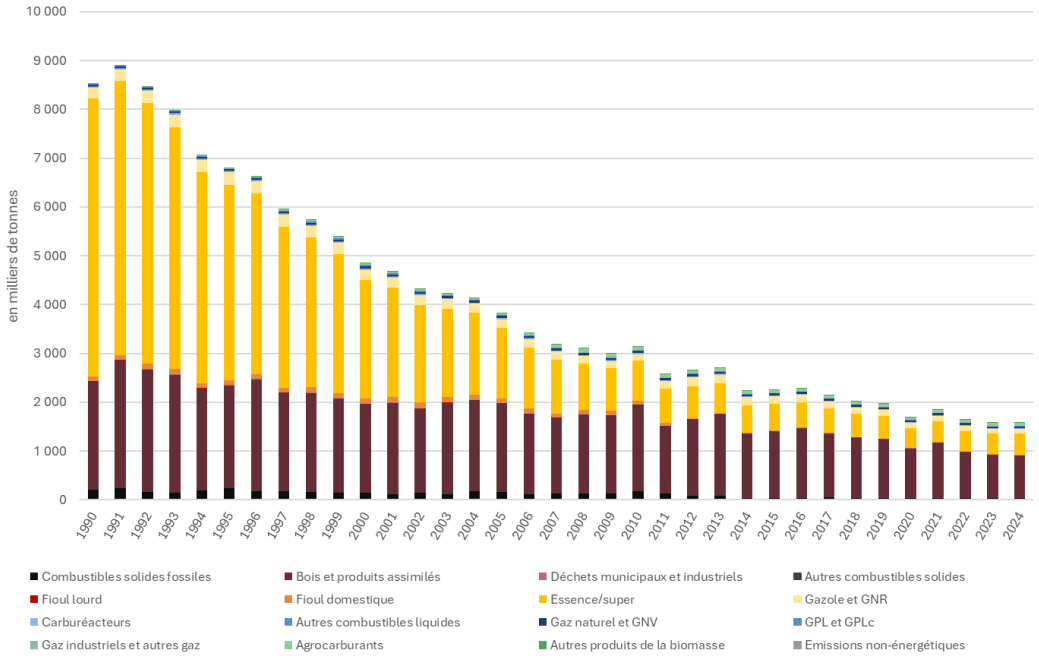
$$C\ (s) + CO_2\ (g) \rightarrow 2\ CO\ (g)$$

En outre, lorsque l'oxygénation du foyer est insuffisante mais que la réaction est suffisamment exothermique pour maintenir une température de flamme assez haute, le monoxyde de carbone interagit avec l'O_2 atmosphérique pour former du dioxyde de carbone. Ces réactions thermochimiques interviennent dans des proportions propres aux conditions de combustion de chaque appareil et contribuent ainsi à la formation ou à la transformation du CO.

Enfin, on peut souligner que les émissions d'oxydes de carbone trouvent leur source dans le carbone organique présent dans le combustible sous forme de chaines carbonées. Or le contenu en carbone des différents combustibles est variable.

Tous ces processus sont constitutifs de la grande variabilité que l'on observe d'une borne à l'autre de la gamme des facteurs d'émission relevés dans la littérature.

Concernant la combustion mobile (le parc roulant), l'introduction des pots catalytiques sur les véhicules à essence en 1993 a permis de très fortement réduire la part des émissions de CO provenant de la combustion de l'essence (moins de 20% des émissions nationales depuis 2010), alors que ce combustible était le principal contributeur dans les années 1990 (plus de 50% des émissions nationales jusqu'en 1993 inclus et plus de 40% jusqu'en 1999 inclus). Aujourd'hui, les émissions de CO proviennent essentiellement de la combustion du bois (42% en 2023), des émissions non-énergétiques (26%) et de la combustion d'essence (20%).



Répartition des émissions de CO par combustible en France (Métropole)

Métaux lourds

Éléments de contexte

Définition

Le terme métal lourd n'a pas de définition scientifique (Seigneur, 2018). On considère généralement que ce sont des éléments métalliques dont la masse volumique est supérieure à 5 g/cm^3. Les métaux pour lesquels des mesures de contrôle et de réduction des émissions dans l'ensemble des compartiments air, eau, sols ont été mises en place aux niveaux international, européen et national, regroupent un ensemble de composés métalliques reconnus pour leurs effets toxiques. La Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (Convention LRTAP) a été la première convention à suivre les métaux dans l'environnement et à mettre en place un Protocole international visant à réduire les émissions de trois métaux lourds (cadmium (Cd), mercure (Hg), plomb (Pb)), (Aarhus 2012). Le rapportage des émissions dans l'atmosphère par les Parties est obligatoire pour ces trois métaux, et le rapportage de nombreux autres métaux est encouragé. La France rapporte l'ensemble des métaux concernés par la Convention LRTAP soit :

- Arsenic (As),
- Cadmium (Cd),
- Chrome (Cr),
- Cuivre (Cu),
- Manganèse (Mn),
- Mercure (Hg),
- Nickel (Ni),
- Plomb (Pb),
- Sélénium (Se),
- Zinc (Zn).

Ainsi, parmi les métaux suivis en termes d'inventaires des émissions dans l'atmosphère, certains correspondent à la définition de « métal lourd » et d'autres non. Ainsi, le zinc ne peut être qualifié de métal lourd. Il fait partie des métaux contrôlés pour sa toxicité. L'arsenic n'est pas un métal mais un métalloïde (ayant des caractéristiques d'un métal mais aussi des caractéristiques opposées), reconnu très toxique. Enfin, le sélénium est un non-métal, c'est un oligo-élément et un bioélément, mais à très faible dose.

Source

Ces métaux sont présents à l'état de trace de façon naturelle dans les sols, selon leurs caractéristiques géologiques (concentration pédo-géochimique naturelle). Des processus de retombées naturelles d'origine volcanique par exemple, influencent aussi les concentrations. Les activités humaines (qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles) influencent par ailleurs les concentrations par dépôts des poussières sur les sols et les eaux. L'érosion des sols contribue à remettre en suspension des métaux sous-forme particulaire ou gazeuse.

Effets sur la santé

Les métaux ont, de façon générale, des effets toxiques sur les êtres vivants, plus ou moins importants. Certains sont cependant des éléments indispensables pour les êtres vivants comme le cuivre, le sélénium, le zinc. Le cadmium, le mercure et le plomb n'ont pas de telles fonctions et sont toxiques à très faibles doses. Au-delà d'une certaine concentration, la plupart des métaux deviennent toxiques. Certains métaux peuvent être cancérigènes (arsenic par exemple) et dégrader les systèmes immunitaires et reproductifs (mercure par exemple). Il est à noter que les impacts sur la santé sont différents selon la forme chimique sous laquelle le métal se retrouve dans l'environnement. L'impact dépend de leurs concentrations, de leur biodisponibilité et de leur capacité à entrer dans la chaîne alimentaire.

Les références suivantes donnent de bonnes synthèses sur la toxicologie des divers métaux et leurs composés organiques ou inorganiques :

- Le portail substances chimiques de l'INERIS fournit des grandeurs caractéristiques sur les substances chimiques dans les domaines suivants : Ecotoxicologie, Toxicologie, Données Technico-économiques. Par exemple pour le mercure :

https://substances.ineris.fr/fr/substance/1183

- L'INERIS met aussi à disposition un certain nombre de fiches, dans lesquelles il est possible de trouver les substances considérées ci-dessus.

https://substances.ineris.fr/fr/page/21#fictox

- L'Organisation Mondiale de la Santé est également une source essentielle, pour certains

composés : https://www.who.int/europe/publications/i/item/EUR-06-5067592

- L'INRS et les fiches toxicologiques : http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html

Effets sur l'environnement

Les métaux ne se dégradent pas mais ils sont présents dans l'environnement sous diverses formes chimiques. Certains peuvent atteindre la chaîne alimentaire, se concentrer, comme le mercure par exemple, et conduire à des voies de contamination par ingestion outre l'inhalation.

Métaux réglementés en termes d'émissions dans l'atmosphère

En raison de leur toxicité, les métaux lourds sont réglementés mais il n'existe pas de liste homogène tous milieux confondus (notamment dans l'eau et l'air).

Au niveau international, les métaux les plus toxiques sont réglementés : mercure (Hg), plomb (Pb) et cadmium (Cd).

Sur le plan international, la **Convention de Minamata** est un traité international visant à protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets néfastes du mercure. La Convention de Minamata est entrée en vigueur le 16 août 2017. En mai 2025, 152 états sont parties à la Convention (Minamata 2025), dont la France.

Dans le cadre de la **Convention LRTAP**, sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU ou UNECE en anglais), le Protocole sur les métaux lourds (ou Protocole d'Aarhus) a été adopté en 1998. Il cible le cadmium, le plomb et le mercure. Les Parties doivent réduire leurs émissions de ces trois métaux en dessous de leurs niveaux de 1990. Le Protocole vise à réduire les émissions provenant de sources industrielles (industrie sidérurgique, industrie des non ferreux, etc.), de la combustion de combustibles (production d'électricité, transport routier) et d'incinération des déchets. Il fixe des valeurs limites pour les émissions provenant de sources fixes et identifie les meilleures techniques disponibles (MTD ou BAT en anglais) pour ces sources. Il introduit également des mesures pour réduire les émissions de métaux provenant de produits (batteries, appareils de mesure (thermomètres, manomètres, baromètres), lampes fluorescentes, amalgames dentaires, pesticides et peintures, etc.). Le Protocole a été amendé en 2012 pour introduire de nouvelles prescriptions et les amendements sont rentrés en vigueur le 8 février 2022, le nombre de ratifications minimal ayant été atteint (dont la France) (AARHUS, 2012) : de nouvelles valeurs limites d'émission (VLE) y sont mises en place pour les métaux lourds et des VLE pour les particules y ont été introduites. Ces VLE pour les particules sont cohérentes avec celles du Protocole de Göteborg amendé.

D'autres Conventions internationales ciblent également les métaux lourds, notamment le mercure, mais dans le compartiment eau : la Convention d'Helsinki de 1992, visant la protection de la mer Baltique, la Convention OSPAR pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord de 1992.

En France, les arrêtés relatifs aux installations classées pour l'environnement, tels que l'arrêté du 2 février 1998 modifié et les arrêtés relatifs aux installations de combustion limitent les émissions de nombreux métaux en fixant des VLE à ne pas dépasser. Les métaux suivants sont concernés : antimoine (Sb), arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), cobalt (Co), cuivre (Cu), étain (Sn), manganèse (Mn), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), sélénium (Se), tellure (Te), thallium (Tl), vanadium (V) et zinc (Zn) (Arrêté 1998).

Des inventaires d'émissions nationaux sont réalisés pour satisfaire les exigences de rapportage de la CEE-NU et de la Commission européenne.

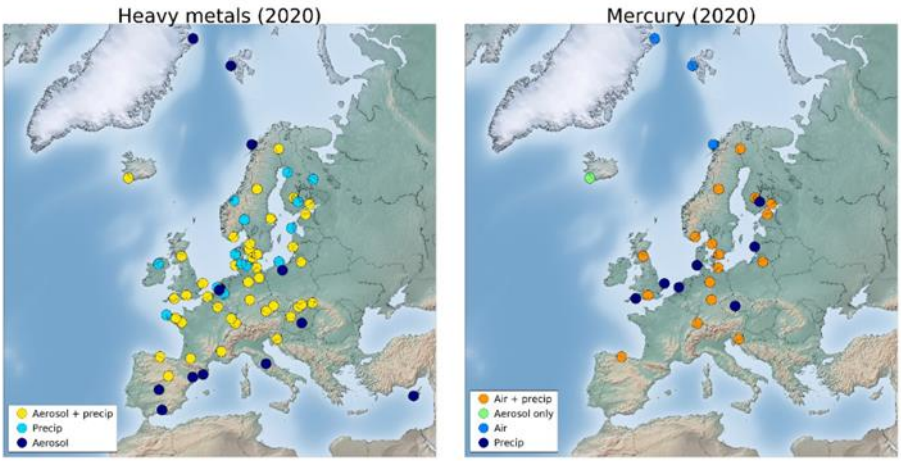
Suivi des métaux dans l'air ambiant

Les métaux lourds réglementés en termes de qualité de l'air et faisant l'objet d'un suivi en termes de concentrations dans l'air ambiant, selon la directive 2004/107/CE modifiée, sont les suivants : le mercure, le nickel, le cadmium et l'arsenic.

Les autres métaux peuvent faire l'objet de surveillance locale près des sites industriels ou de campagnes de mesures ponctuelles.

Des mesures de concentrations de métaux sont aussi réalisées par l'observatoire national de Mesure et d'Evaluation en zone rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance. Cinq stations de fonds rurales mesurent les quatre métaux ci-dessus. Les données sont reportées chaque année à AirBase (the European Air quality dataBase), à l'EMEP et sont visualisables sur le site EBAS (https://ebas.nilu.no/) (MERA 2023).

La référence (CCC 2022), présente la mesure de métaux réalisée dans la zone EMEP à la fois dans l'air ambiant et dans les précipitations :



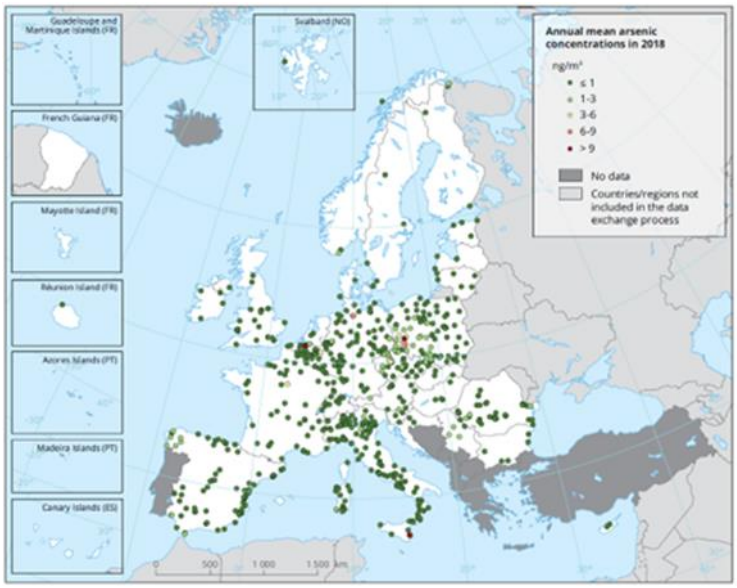
Réseaux de mesures des métaux lourds (gauche) et spécifiquement du mercure (droite) en 2020 (CCC 2022)

Concentrations observées dans l'environnement

Les problèmes de pollution de l'air causés par les métaux As, Cd, Pb et Ni, en termes d'air ambiant, sont très localisés. L'Agence de l'Environnement Européenne (AEE 2020) ne relève en 2018 que peu de concentrations au-dessus des valeurs cibles :

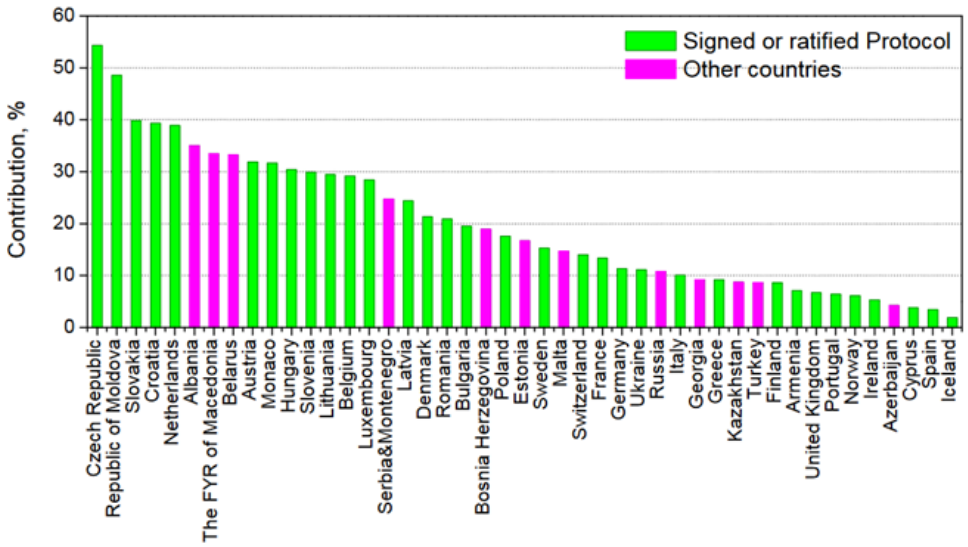
- Ainsi pour l'arsenic, sur les 665 stations dans 28 pays, des dépassements de la valeur cible (6 ng/m^3) sont mesurés dans six stations, à la fois sur des sites industriels et en sites urbains de fonds (deux sites en Belgique, deux en Pologne, un en Italie et un en Allemagne).
- Pour le cadmium, sur 699 stations et pour la première année, aucune concentration au-dessus de la valeur cible (5 ng/m^3) n'a été mesuré.
- Pour le Ni, sur 679 stations, trois dépassements de la valeur cible de 20 ng/m^3 sont observés sur des stations de sites industriels, une au Royaume-Uni, une en Norvège et une en France.
- Pour le Pb, sur 695 stations, seule une station sur site industriel en Roumanie dépasse la valeur cible de 0,5 µg/m^3.

La figure suivante présente les concentrations d'Arsenic mesurées en Europe.



Concentrations d'Arsenic mesurées en 2018 en Europe (AEE 2020)

Selon des travaux de l'OMS (OMS 2007), le transport des métaux lourds à longue distance est démontré mais est très variable selon les pays et selon les métaux considérés. En France et pour l'année 2003, les dépôts de cadmium ont été estimés à 20% comme provenant de l'extérieur du territoire européen, à environ 30% pour les dépôts de plomb et à environ 15% pour ceux du mercure.



Contribution de sources anthropiques extérieures aux dépôts de mercure en 2003 dans les pays européens (TFHM 2006)

As | Arsenic

Type
Polluant atmosphérique.

Définition
L'arsenic (As) est un métalloïde présent à l'état naturel dans l'écorce terrestre sous la forme notamment d'arsénopyrite (FeSAs). Selon l'Ineris, sa concentration moyenne dans l'écorce terrestre est de 2 mg/kg. Il se retrouve dans les combustibles minéraux solides, le fioul lourd, la biomasse et certaines matières premières.

Il a été classé cancérigène groupe 1 par le CIRC et est très irritant pour le système respiratoire et la peau. Pour sa toxicité et son écotoxicité, se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

Origine
Sources anthropiques : combustion de combustibles fossiles solides, de fioul lourd et de carburants ; production de verre ; métallurgie des métaux ferreux et non ferreux.

Sources naturelles : érosion des sols ; activité volcanique ; feux de forêt.

Phénomènes associés
L'arsenic est persistant dans l'environnement mais faiblement bioaccumulable. Il est très toxique (toxicité chronique) pour le milieu aquatique, classé H410, et présente aussi une toxicité aigüe pour ce même milieu (classé H400).

Effets

Santé,

Classé cancérigène pour l'homme groupe 1, selon le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC, et en anglais International Agency for Research on Cancer -IARC).

Enjeux

Sources principales

Tous les secteurs contribuent aux émissions d'arsenic (As) mais dans des proportions variables. Historiquement, le principal secteur contributeur est l'industrie manufacturière, dont le principal sous-secteur est celui des minéraux non métalliques et matériaux de construction. Les émissions de ce polluant dans l'atmosphère proviennent :

- de la présence de traces de ce métal dans les combustibles minéraux solides, le fioul lourd, le bois-énergie ainsi que dans les carburants,
- de la présence de ce métal dans certaines matières premières utilisées, par exemple dans la production de certains verres et de métaux ferreux ou non ferreux,
- de l'usure des routes, de l'abrasion des pneus et des freins.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

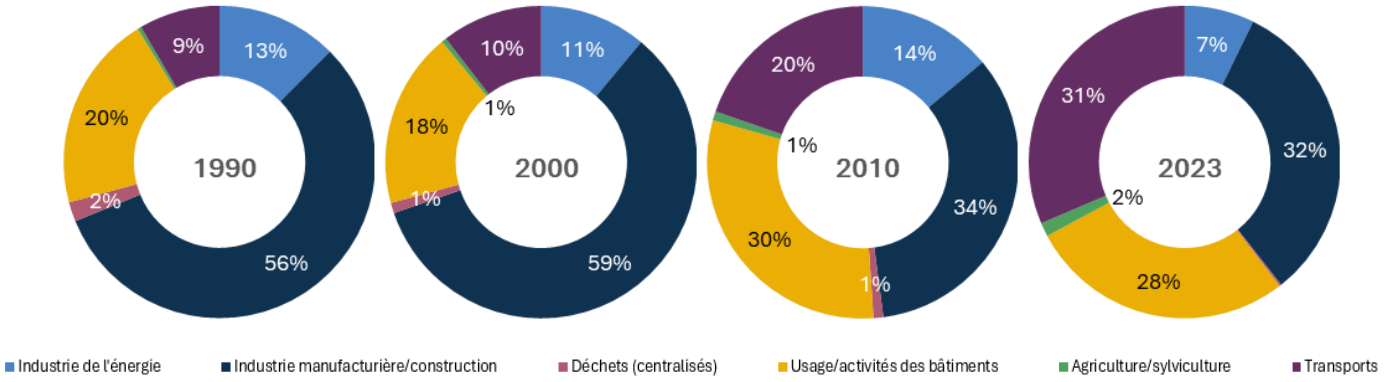
Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 90% pour l'année 2023.

A noter

La part hors total des émissions d'arsenic provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative des émissions du total national évoluant entre 9% en 1990 et 11% en 2023 et culminant à 24% en 2011. Depuis 1990, ces émissions ont diminué de 53%.

Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation, etc.) d'arsenic n'est calculée.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions d'arsenic en France

Tendance générale

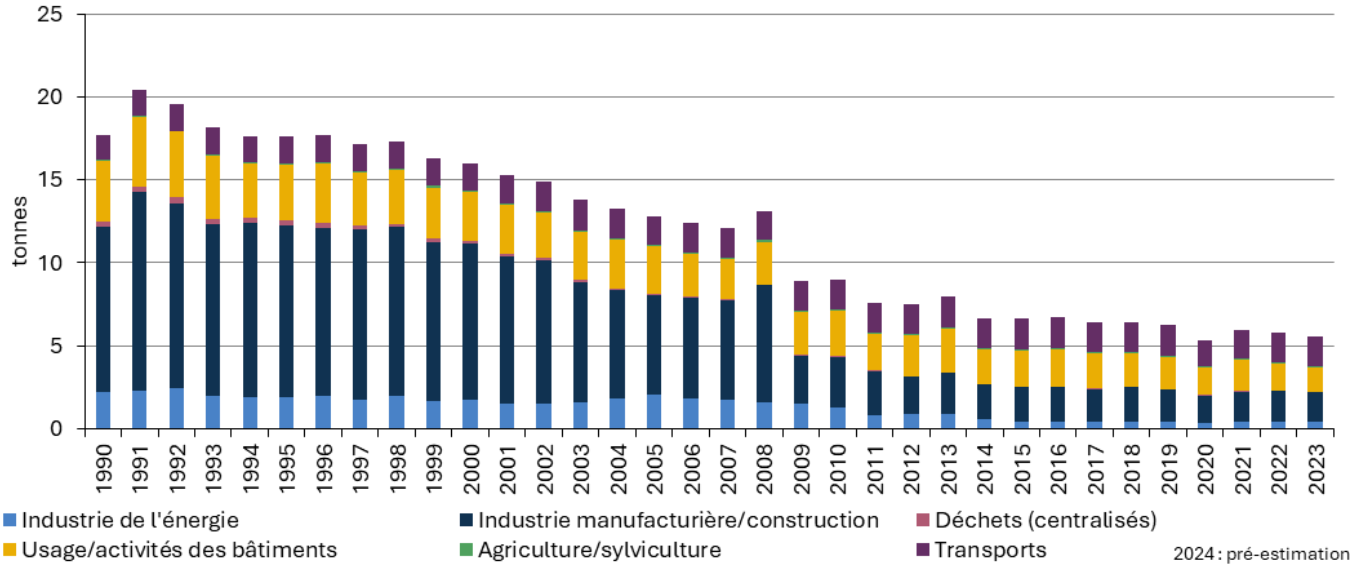
Sur la période 1990-2023, les émissions ont diminué de 69% avec toutefois deux pics visibles sur cette courbe, l'un en 1991 (20 t) et l'autre en 2008 (13 t). Ce dernier résulte d'un dysfonctionnement des épurateurs d'un site de production de verre creux.

Cette tendance globale est principalement permise par des évolutions notables dans l'industrie manufacturière :

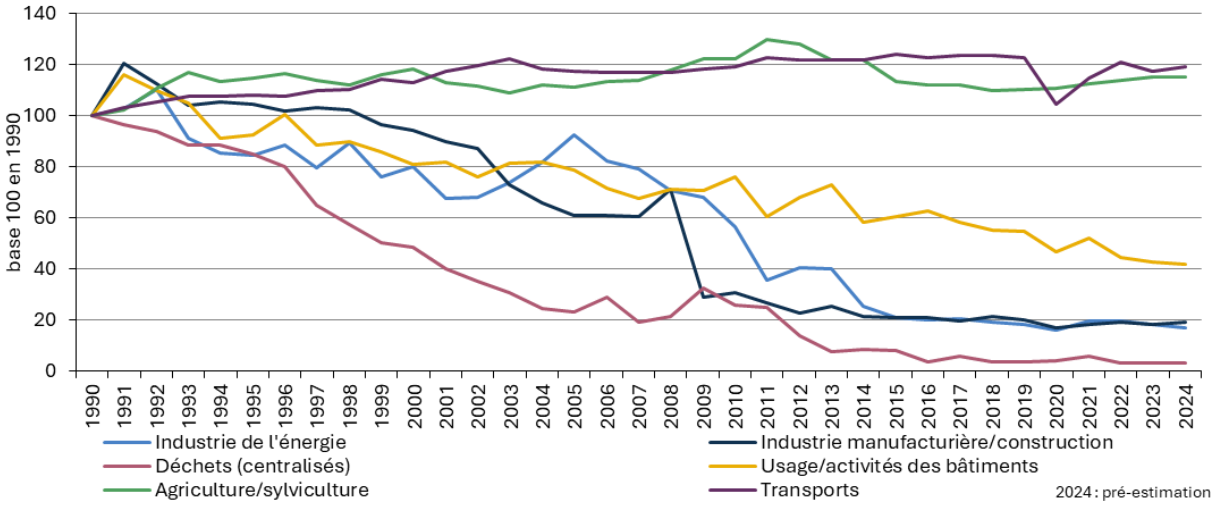
- une très forte baisse de consommation de combustibles minéraux pour la production de verre ;
- une diminution très forte de la consommation de gaz de hauts fourneaux dans les ateliers d'agglomération à partir de 2005 ;
- à la mise en place dans les aciéries électriques de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux.

Depuis 2009, la baisse des émissions s'explique principalement par l'installation d'électrofiltres sur de nombreux fours de production de verre creux. La crise financière de 2008, qui a entraîné une baisse de l'activité industrielle, est également un des facteurs responsables de la baisse des émissions.

Dans le secteur du résidentiel/tertiaire, la forte diminution des émissions est induite par la baisse de la consommation de combustibles minéraux solides comme le charbon.



Evolution des émissions dans l'air d'As depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air d'As en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

Plus récemment, depuis 2008, la diminution des émissions d'arsenic est une conséquence pondérée des faits détaillés ci-après :

D'une part, dans le secteur de la transformation d'énergie, la baisse est la conséquence de la fermeture de certaines centrales thermiques fonctionnant au charbon. En 2011, les émissions ont encore diminué du fait de l'effet cumulé d'une moindre consommation de charbon au bénéfice du gaz naturel et d'un climat doux. En 2012 et 2013, la baisse d'activité du secteur du raffinage compense la reprise de la consommation de combustibles pour la production d'électricité, liée à des années plus froides que 2011. En 2014 et 2015, la baisse des émissions constatée est principalement expliquée par la douceur du climat ces années-là. Depuis 2014, les émissions d'As sont plutôt stables, en légère baisse.

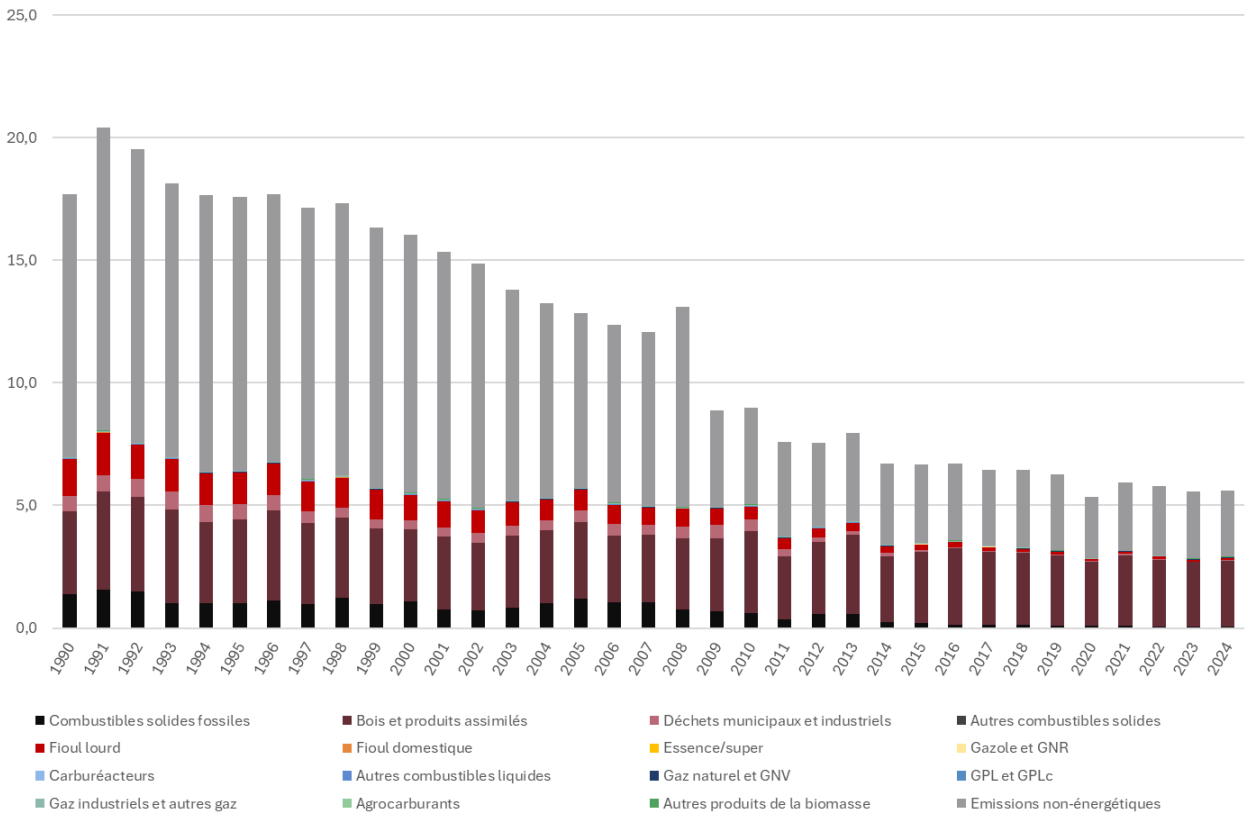
D'autre part, les émissions d'As ont baissé dans tous les secteurs sauf dans l'agriculture et les transports. L'agriculture reste toutefois un contributeur très marginal avec des émissions d'As qui proviennent notamment de la combustion dans les engins mobiles, moteurs et chaudières (dont les consommations augmentent depuis 1990). En revanche, le secteur du transport devient la deuxième source de ces émissions en 2022, en s'approchant chaque année des niveaux d'émissions de l'Industrie manufacturière/construction. L'évolution des émissions d'As des transports est liée à l'évolution du trafic.

L'impact de la crise sanitaire et du confinement est visible sur l'évolution des émissions de l'arsenic entre 2019 et 2020 (-14,5%), particulièrement dans les secteurs de l'industrie manufacturière et des transports après plusieurs années consécutives de baisses minimes ou de stagnations. Les émissions sont d'ailleurs reparties à la hausse en 2021 (+11% par rapport à 2020) et sont revenus dans la tendance à la baisse entamée en 2014.

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions d'arsenic se répartissent de façon équilibrée entre émissions énergétiques (liées à des combustibles) et émissions non énergétiques. Depuis 1990, le bois et produits assimilés, les CMS, le fioul lourd et les déchets municipaux et industriels sont les principaux combustibles responsables des émissions énergétiques d'arsenic de la France. La contribution des CMS, du fioul lourd et des déchets à ces émissions a diminué progressivement depuis 1990.

Celle du bois en revanche a diminué de façon moins rapide et constitue donc, depuis 1990, la grande majorité des émissions énergétiques d'arsenic. Ces combustibles représentaient 49% des émissions énergétiques d'As en 1990 et 93% en 2023.



Répartition des émissions d'As par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions d'arsenic en France métropolitaine sont estimées en 2022 à 82 mg par habitant et par an contre 126 mg dans l'Union Européenne (UE-27[40]) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions d'arsenic de l'Union Européenne ont diminué de 90% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-2740) étaient la Pologne, l'Allemagne et la France (EEA-UNECE).

[40] Sauf l'Autriche et le Luxembourg qui n'ont pas rapporté les émissions d'arsenic sur leur territoire.

Cd | Cadmium

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Le cadmium (Cd) est un métal présent à l'état naturel dans la croûte terrestre. Il est présent à l'état de traces dans les combustibles fossiles solides, le fioul lourd et la biomasse.

C'est un métal toxique, très irritant pour le système respiratoire, classé cancérigène, mutagène et reprotoxique. Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris.

Origine
Sources anthropiques : production de zinc ; combustion de combustibles fossiles solides, de fioul lourd et de biomasse ; incinération de déchets.

Sources naturelles : éruption volcanique ; entraînement de particules provenant du sol, feux de forêts.

Phénomènes associés
Le cadmium en poudre présente une toxicité chronique pour le milieu aquatique (classé H410) mais aussi une toxicité aigüe (classé H400).

Effets

Santé.

Le cadmium en poudre est classé cancérigène groupe 2B (H350) (Substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé), mutagène groupe 2 (H341) et reprotoxique groupe 2 (H361fd).

Enjeux

Effets environnementaux/sanitaires

Le Plan national santé environnement pour la période 2015-2019 (PNSE 3) fait de la prévention aux risques liés à l'exposition aux métaux lourds tels que le cadmium une de ses priorités. Il est en effet souligné que le cadmium, métal lourd ubiquitaire, présente de grands enjeux. L'exposition prolongée au cadmium par voie orale induit des atteintes rénales, une fragilité osseuse, des troubles de la reproduction, ainsi qu'un risque accru de cancer ayant donné lieu à un classement comme « cancérigène pour l'homme » (groupe 1) par le CIRC et dans la catégorie 1B (cancérigène chez l'animal) par l'Union Européenne.

Sources principales

Tous les secteurs contribuent aux émissions de cadmium (Cd) mais l'industrie manufacturière est prédominante. Les principales sources d'émission sont :

- la combustion des combustibles minéraux solides, du fioul lourd mais également de la biomasse,
- l'incinération (ordures ménagères avec récupération d'énergie et incinération des boues),
- la sidérurgie,
- la métallurgie des métaux non ferreux,
- la production de minéraux non-métalliques et de matériaux de construction,
- la combustion des autres combustibles et d'une partie des huiles moteur, ainsi que l'abrasion des pneus et freins pour le secteur routier.

Objectifs de réduction

Le Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds (adopté en 1998 et amendé en 2012) impose à la France de ne pas dépasser le niveau d'émission de cadmium atteint en 1990 soit 20,5 tonnes émises par an. Aucun autre objectif plus contraignant ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

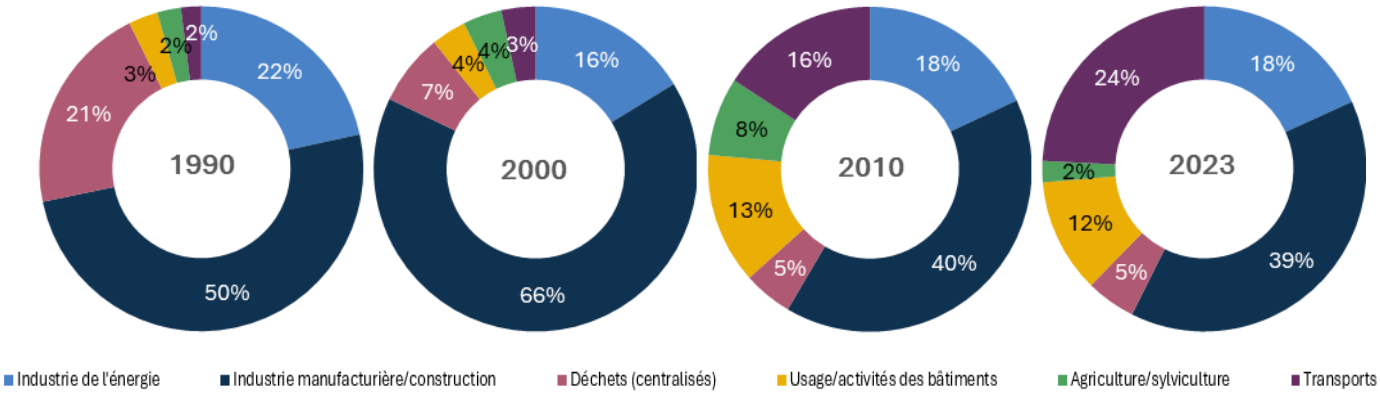
▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 39% pour l'année 2023.

A noter

La part hors total des émissions de cadmium provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative croissante des émissions du total national, évoluant entre 0,6% en 1990 et 2,0% en 2023 et culminant à 3,6% en 2011. Depuis 1990, ces émissions ont diminué de 59%.

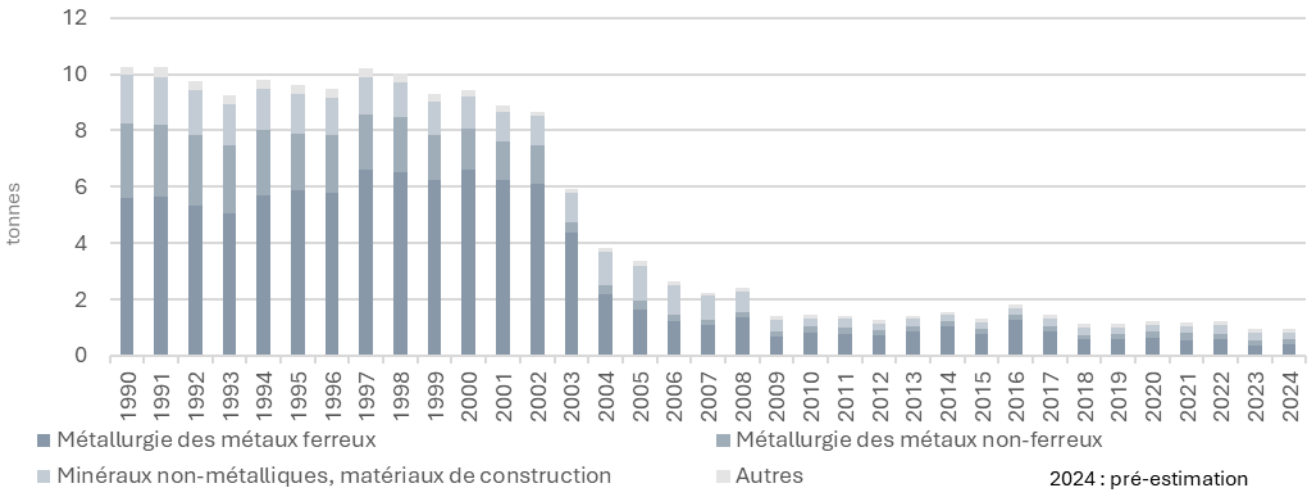
Principaux secteurs émetteurs



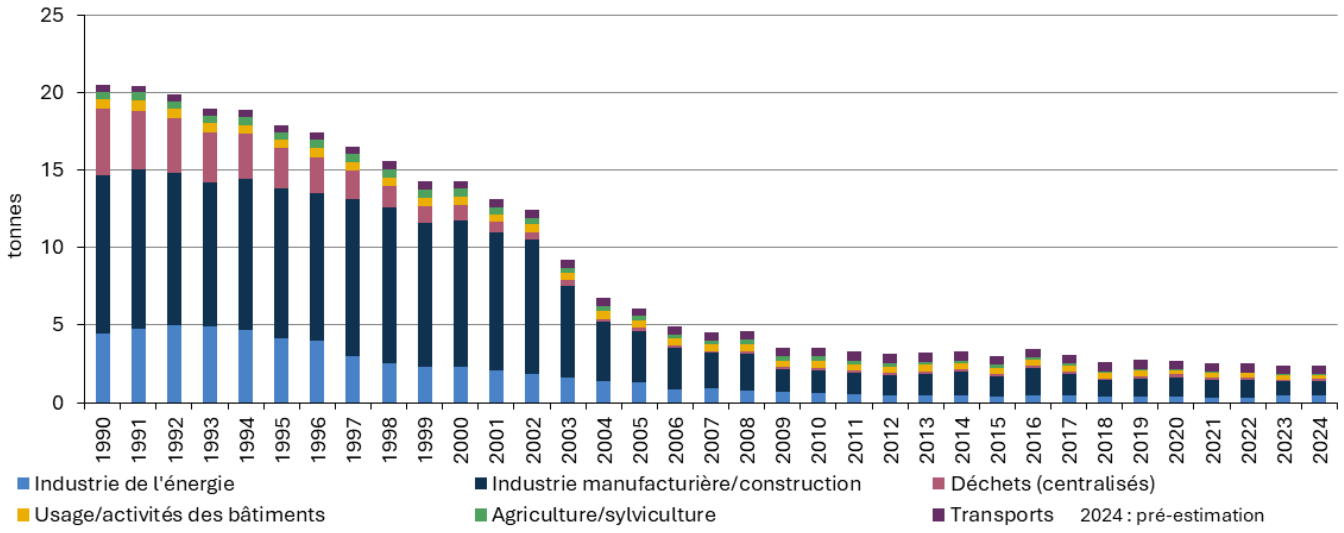
Répartition des émissions de cadmium en France

Tendance générale

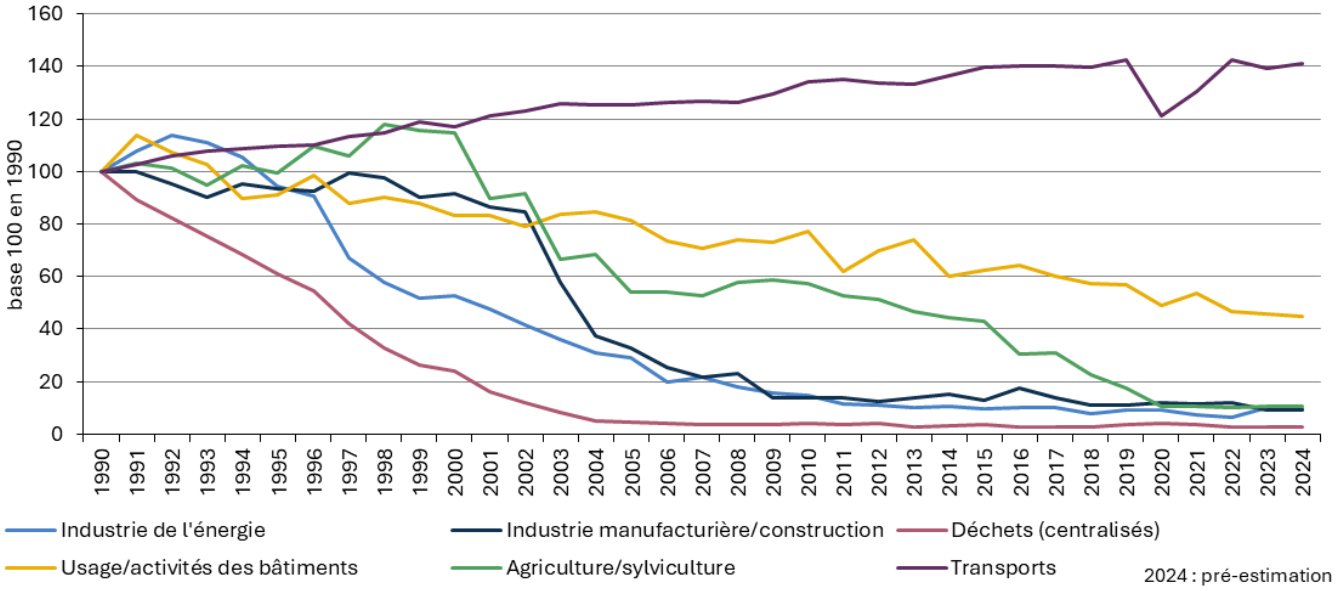
Les émissions de cadmium ont baissé de 88% entre 1990 et 2023. La baisse des émissions sur cette période s'observe dans tous les secteurs émetteurs principaux. Elle s'explique par les progrès réalisés dans les secteurs industriels, en particulier la sidérurgie et la métallurgie des métaux non ferreux, et dans le traitement des fumées des usines d'incinération. La baisse la plus importante des émissions a eu lieu entre 2002 et 2009 (-72%).



Répartition des émissions de Cd du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Cd depuis 1990 en France (Métropole)



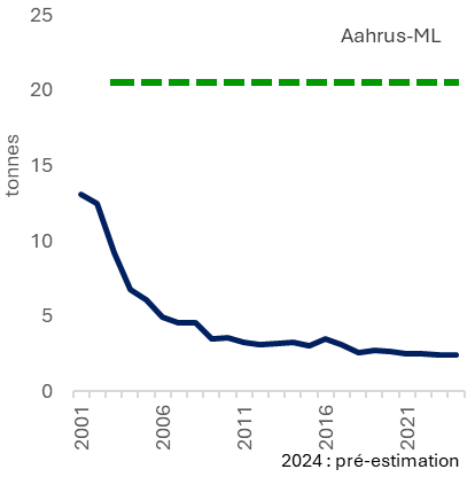
Evolution des émissions dans l'air de Cd en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Atteinte des objectifs

La France respecte l'objectif issu du protocole Aarhus depuis 1990 puisque ses émissions de cadmium sont globalement en baisse depuis cette année de référence.

L'objectif de ne pas dépasser un plafond de 20,5 tonnes par an d'émissions de Cadmium est respecté, puisque les émissions sont passées en dessous du seuil de 10 tonnes par an en 2003 et en dessous du seuil de 5 tonnes par an en 2006.

Depuis 2018, les émissions sont à moins de 3 tonnes par an.



Évolution récente

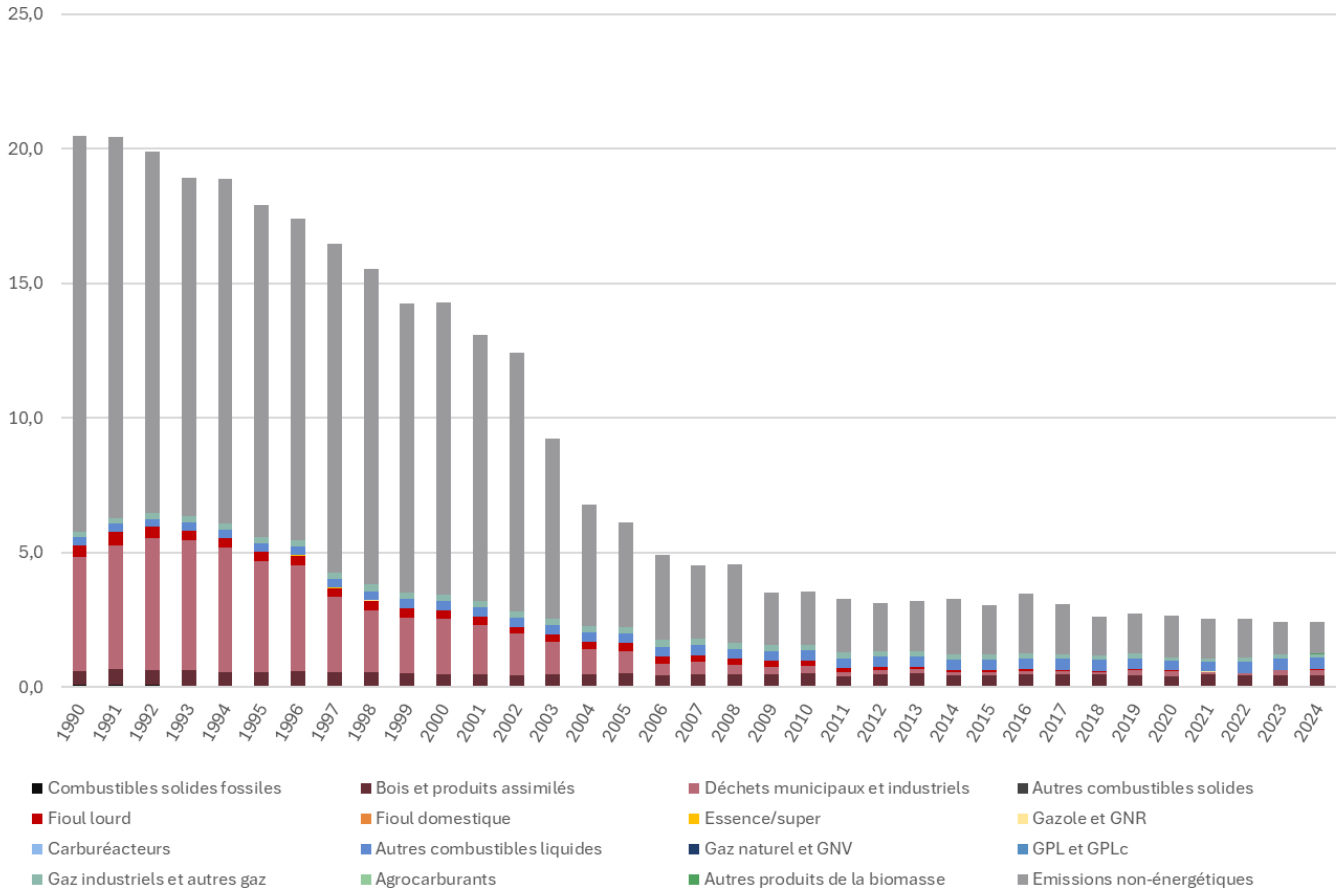
Plus récemment, entre 2002 et 2009, le secteur de l'industrie manufacturière a connu une forte réduction de ses émissions du fait :

- d'une meilleure gestion du minerai de fer (contenant moins de métaux lourds) pour fabriquer l'aggloméré dans le procédé sidérurgique,
- de la mise en place de dépoussiéreurs en 2009 sur plusieurs fours du secteur verrier (verre creux),
- et enfin, de la crise économique, qui a entraîné un ralentissement de l'activité.

Depuis, les émissions de cadmium, dominées par le secteur de l'industrie manufacturière, sont restées relativement stables. Par ailleurs, le meilleur traitement des fumées des usines d'incinération d'ordures ménagères avec récupération d'énergie est responsable de la baisse observée dans le secteur de l'industrie de l'énergie.

La crise sanitaire et le confinement n'ont pas entraîné de baisse conjoncturelle notable des émissions de cadmium entre 2019 et 2020.

Part des émissions liées aux combustibles



Répartition des émissions de Cd par combustible en France (Métropole)

Les émissions énergétiques de cadmium représentent une part relative des émissions totales de ce polluant évoluant entre 28% en 1990 et 51% en 2023. A l'instar des émissions non-énergétiques, celles-ci diminuent depuis 1990, notamment la part de ces émissions liée aux déchets municipaux et industriels qui représentait de 74% en 1990, contre seulement 17% en 2023. Celles d'autres combustibles liquides et du bois en revanche ont diminué de façon moins rapide et constituent en 2023 chacune 34% (donc 68% du total) des émissions énergétiques de cadmium.

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de cadmium en France métropolitaine sont estimées en 2022 à 39 mg par habitant et par an contre 119 mg dans l'Union Européenne (UE-27) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de cadmium de l'Union Européenne ont diminué de 67% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-27) étaient l'Allemagne, la Pologne et l'Espagne (EEA-UNECE).

Cr | Chrome

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Le chrome (Cr) n'existe pas à l'état natif mais seulement sous forme de minerai tel que la chromite. C'est un composé présent en petites quantités à l'état naturel dans les roches et les sols. Sa forme naturelle est plutôt trivalente (chrome III). La forme hexavalente (chrome VI) est principalement liée aux activités humaines. On le retrouve en trace dans les combustibles fossiles solides, le fioul lourd et la biomasse.

Le chrome hexavalent est classé cancérigène groupe 1 mais les autres formes ne le sont pas. Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

Origine
Sources anthropiques : fonderies de fonte ; aciéries électriques ; combustion de combustibles fossiles solides, de fioul lourd, de biomasse et de carburants ; production de verre.

Sources naturelles : mise en suspension de poussières, volcanisme, feux de forêts.

Phénomènes associés
Le chrome s'accumule peu dans la chaîne alimentaire.

Effets

Santé.

Les composés du chrome VI sont classés cancérigènes groupe I selon le CIRC. Les composés du chrome III ne le sont pas.

Enjeux

Sources principales

Tous les secteurs contribuent aux émissions de chrome, mais les émissions proviennent historiquement très majoritairement de l'industrie manufacturière et plus précisément de la métallurgie des métaux ferreux.

Les émissions de chrome (Cr) ont pour principale origine les traces de ce métal dans les combustibles (combustibles minéraux solides, fioul lourd, biomasse et carburant) émises lors de la combustion. Pour le transport routier, en plus de la combustion des carburants, les émissions proviennent, d'une part, de la combustion d'une partie des huiles moteur dans tous les types de véhicules et, d'autre part, de l'abrasion des pneus et des freins.

Dans le secteur de l'industrie manufacturière, les émissions sont issues principalement du sous-secteur de la production des métaux ferreux, en particulier des aciéries électriques et des fonderies de fonte, et du sous-secteur des minéraux non métalliques et matériaux de construction, en particulier du fait de certaines installations de production de verre.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

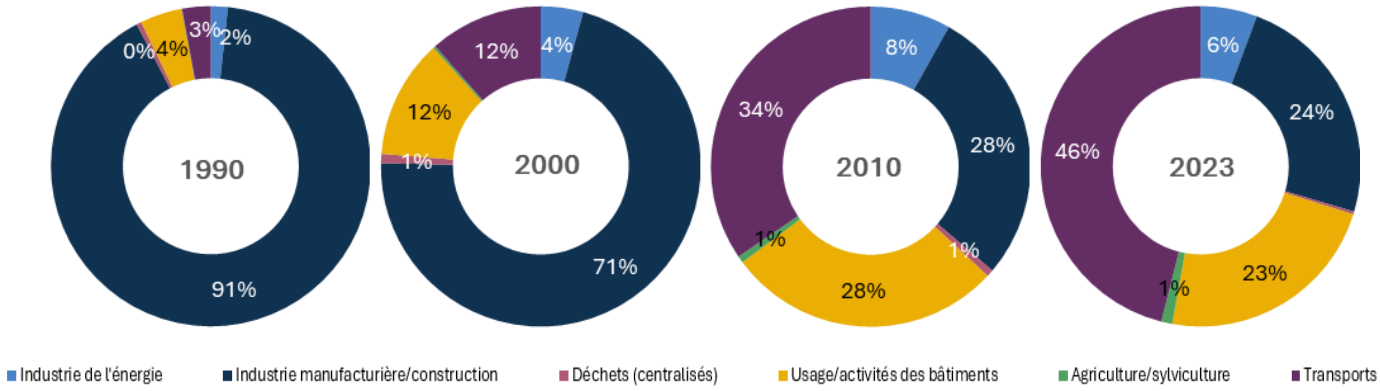
▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 140%.

A noter

La part hors total des émissions de chrome provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative croissante des émissions du total national évoluant entre 0,4% en 1990 et 2,2% en 2023, et culminant à 4,4% en 2011. Entre 1990 et 2023, ces émissions ont diminué de 46%.

Principaux secteurs émetteurs

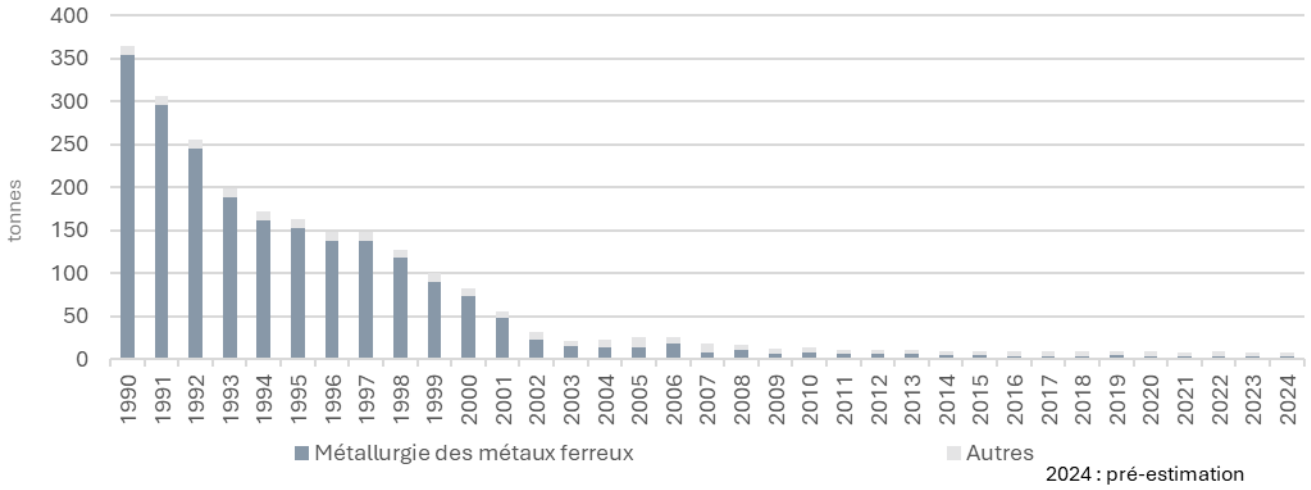


Répartition des émissions de chrome en France

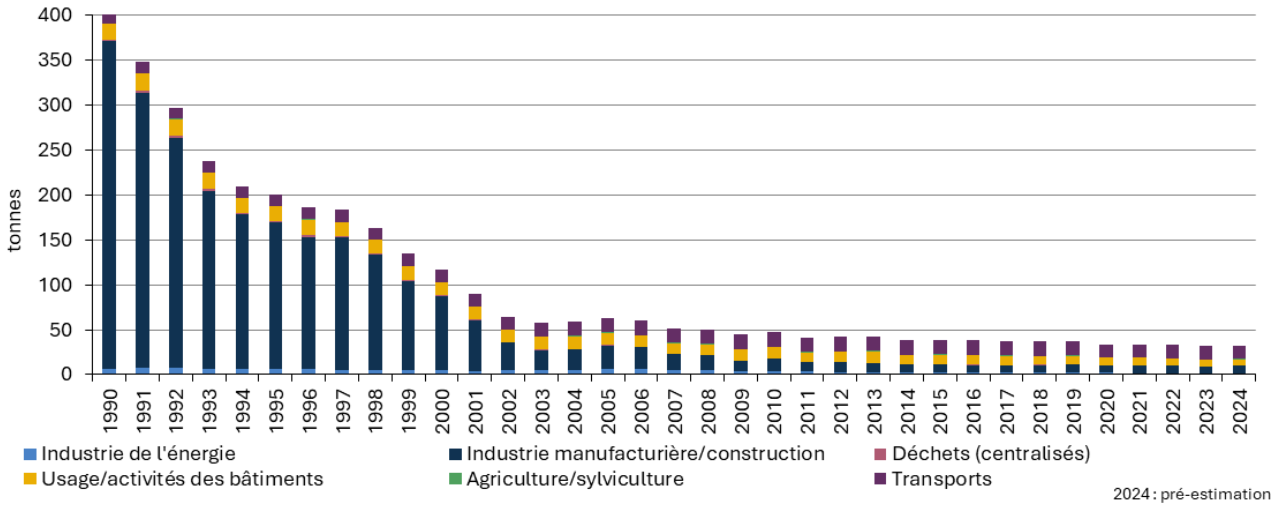
Tendance générale

La forte baisse des émissions observée dans le secteur de l'industrie manufacturière depuis 1990 s'explique principalement par la mise en place dans les aciéries électriques, de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux. L'importance relative d'autres secteurs (Résidentiel/tertiaire et Industrie de l'énergie) a augmenté progressivement avec la baisse du niveau des émissions globales. Dans le secteur du résidentiel/tertiaire, la forte diminution des émissions est induite par le renouvellement du parc des installations individuelles fonctionnant au bois par des équipements plus performants.

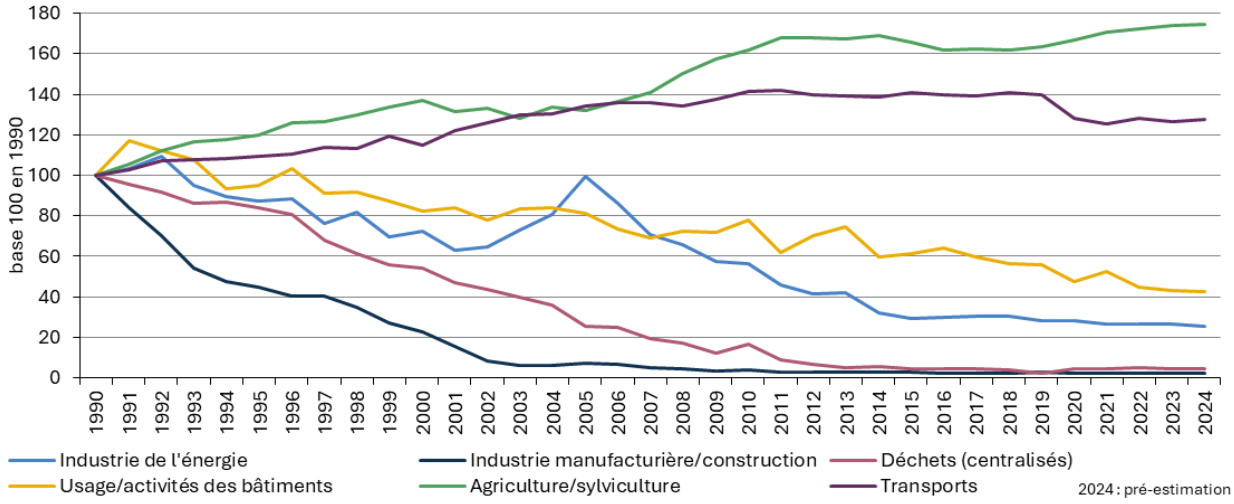
Globalement, les émissions de chrome ont baissé de 92% entre 1990 et 2023.



Répartition des émissions de Cr du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Cr depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Cr en base 100 en 1990 en France (Métropole)

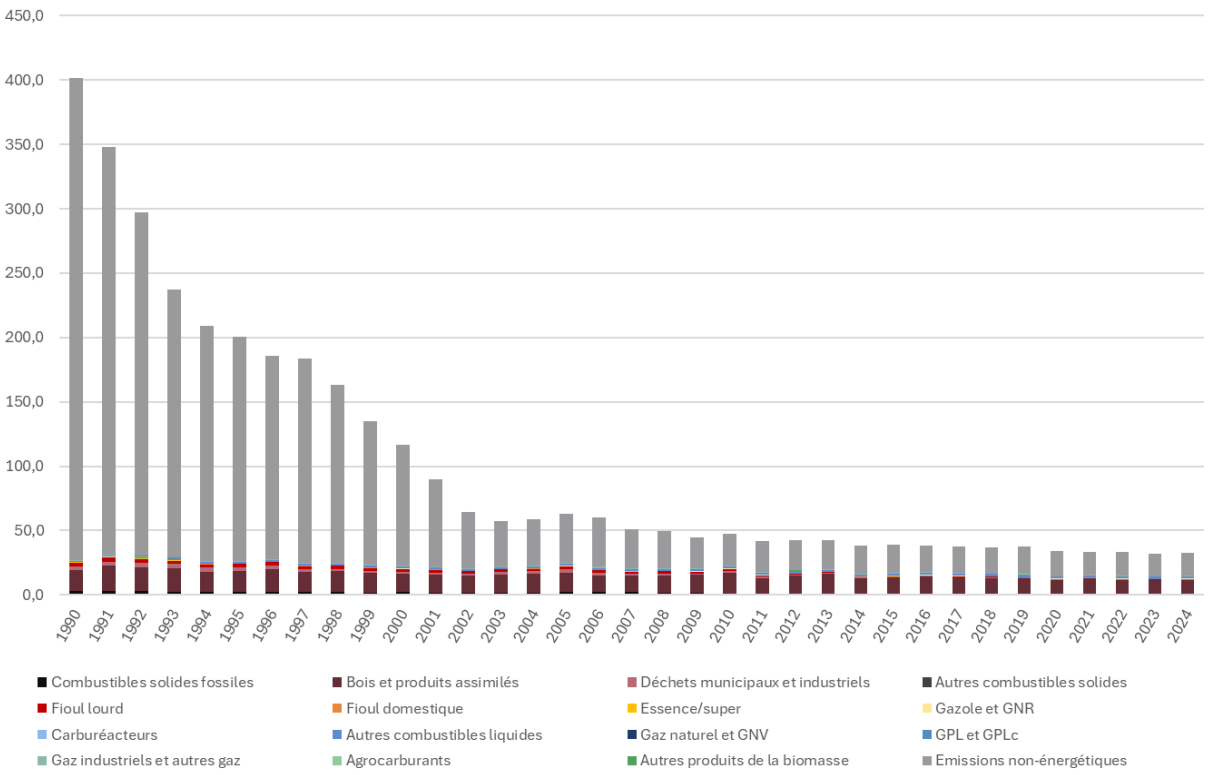
Évolution récente

Depuis 2006, les émissions de chrome sont inférieures à 60 t/an, et à 40 t/an depuis 2014. Les niveaux des émissions de chrome (Cr) depuis 2016 sont les plus bas observés sur l'ensemble de la période (depuis 1990), de l'ordre de 35 t/an en moyenne, en légère baisse.

L'impact de la crise sanitaire et du confinement est visible sur l'évolution des émissions du chrome entre 2019 et 2020 (-10%), particulièrement dans les secteurs de l'industrie manufacturière et des transports sans pour autant qu'un rebond soit observé en 2021.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions énergétiques de chrome représentent une part relative croissante des émissions totales de ce polluant, passant de 7% en 1990 à 46% en 2023. A l'instar des émissions non-énergétiques, celles-ci diminuent depuis 1990, notamment les émissions liées aux bois et produits assimilés qui accusent une diminution de 31% entre 1990 et 2023. Ces combustibles représentaient 60% des émissions énergétiques de chrome en 1990 et 78% en 2023.



Répartition des émissions de Cr par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de chrome en France métropolitaine sont estimées en 2022 à 468 mg par habitant et par an contre 720 mg dans l'Union Européenne (UE-27[41]) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de chrome de l'Union Européenne ont diminué de 69% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-2741) étaient l'Allemagne, la Pologne, et l'Italie (EEA-UNECE).

[41] Sauf l'Autriche et le Luxembourg qui n'ont pas rapporté les émissions de chrome sur leur territoire.

Cu | Cuivre

Type

Polluant atmosphérique

Définition

Le cuivre (Cu) est un métal présent à l'état naturel dans l'écorce terrestre à l'état pur et dans de nombreux minerais. Il se trouve à l'état de traces dans des combustibles fossiles solides et dans la biomasse.

Le cuivre est un oligo-élément essentiel. La toxicité chronique du cuivre par voie orale affecte le foie, les reins et l'estomac. Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

Origine

Sources anthropiques : usure des plaquettes de frein et des pneumatiques ainsi qu'abrasion des routes (transport routier) ; usure des caténaires (transport ferroviaire) ; combustion de combustibles minéraux solides, de carburants et de biomasse ; métallurgie de métaux ferreux (aciérie électriques).

Sources naturelles : érosion des roches ; activité volcanique ; feux de forêts ; aérosols marins.

Phénomènes associés

Le sulfate de cuivre et le chlorure de cuivre sont très toxiques pour les organismes aquatiques.

Effets

Santé. La toxicité dépend des formes chimiques.

Enjeux

Sources principales

Les émissions de cuivre dues au transport routier sont imputables, en très grande partie, à l'usure des plaquettes de freins. La combustion des carburants et d'une partie des huiles moteur dans tous les types de véhicules ainsi que l'abrasion des routes et l'usure des pneumatiques contribuent également aux émissions, mais de manière très marginale.

Pour les autres transports, les émissions de cuivre proviennent majoritairement du transport ferroviaire et en particulier de l'usure des caténaires.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

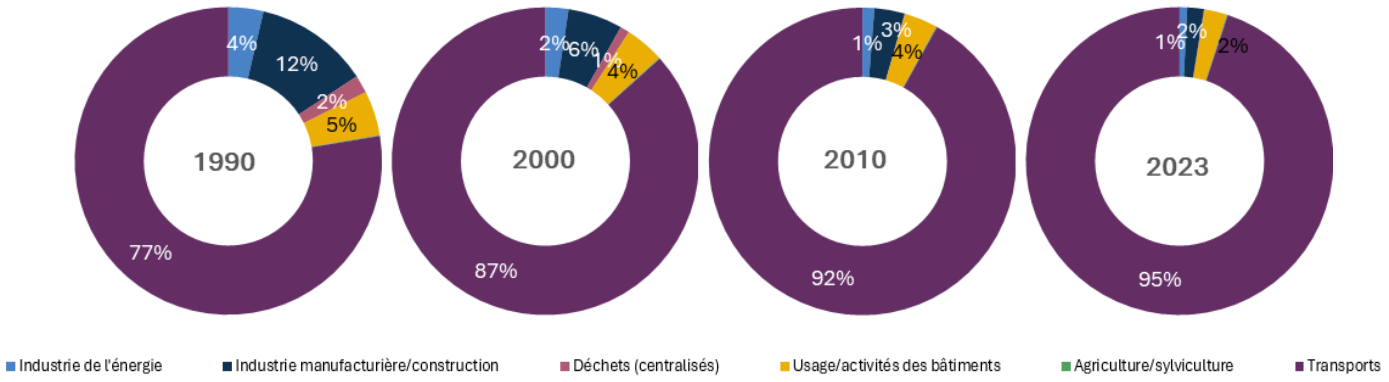
Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 233%.

A noter

La part hors total des émissions de cuivre provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative des émissions du total national évoluant entre 0,9% en 1990 et 0,4% en 2023. Depuis 1990, ces émissions ont diminué de 47%.

Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation, etc.) de cuivre n'est calculée.

Principaux secteurs émetteurs

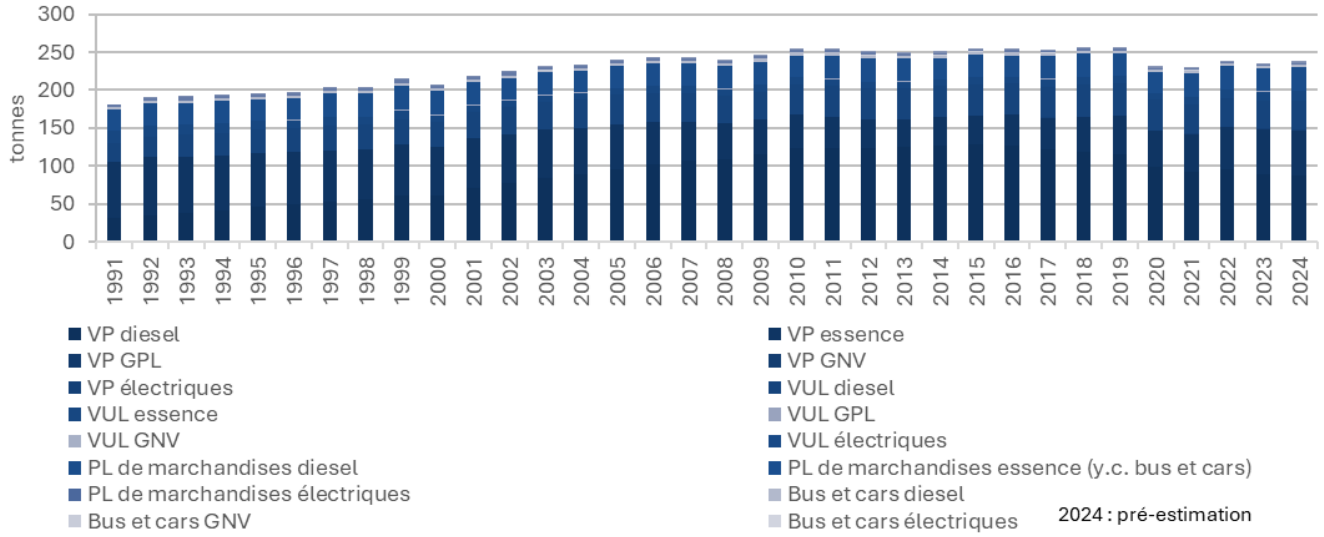


Répartition des émissions de cuivre en France

Tendance générale

Les émissions de cuivre (Cu) en France métropolitaine ont globalement une tendance à la hausse (+6,3%) sur la période 1990-2023. Une légère diminution, partiellement liée à l'impact de la crise sanitaire et du confinement, est visible sur l'évolution des émissions du cuivre entre 2019 et 2020 (-15%). Elle s'est suivie d'un rebond limité de +3,0% entre 2020 et 2021, puis d'un autre plus important +11% entre 2021 et 2022 tandis que les émissions de cuivre entre 1990 et 2019 suivent plutôt une tendance à la hausse (+12%).

Le secteur des transports est historiquement le contributeur principal aux émissions de cuivre, entre 78% en 1990 à 95% en 2023. Parmi les différents modes de transport, le transport routier est le plus grand émetteur en contribuant seul à hauteur de 79% de ces émissions en 2023.



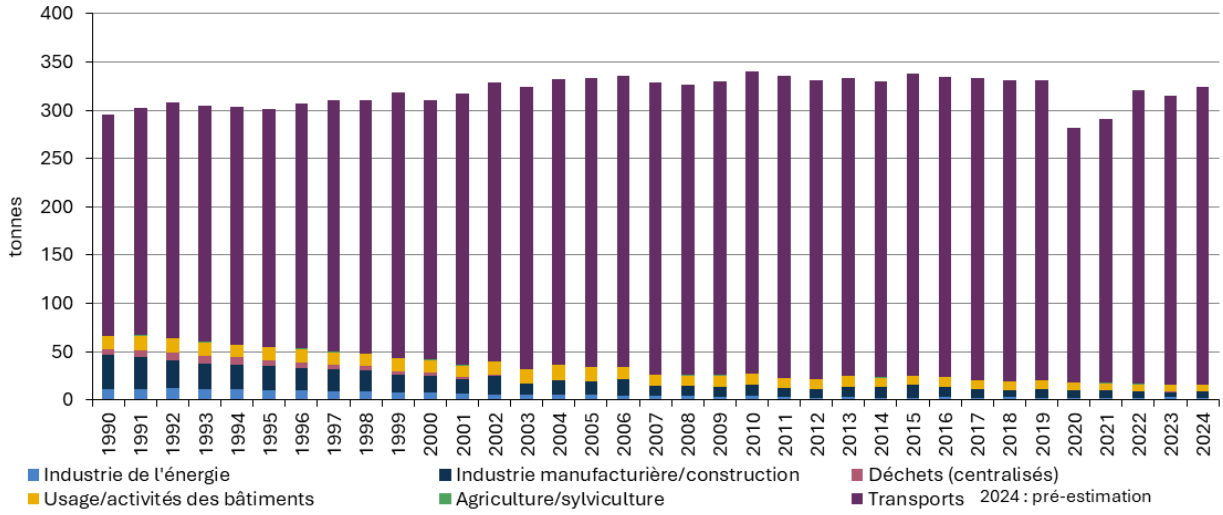
Evolution des émissions dans l'air de Cu du transport routier depuis 1990 en France (Métropole)

La hausse observée depuis 1990 dans les secteurs relatifs aux transports est due à l'accroissement du trafic routier. En effet, le total des autres émissions décroît de 28% entre 1990 et 2023. Les émissions du transport routier décrochent de façon conjoncturelle en 2020 en lien avec la baisse des usages des transports routiers lors de la crise sanitaire et des périodes de confinement et sont suivies d'un rebond limité en 2021. En revanche, plusieurs secteurs ont vu leurs émissions décroître depuis 1990 :

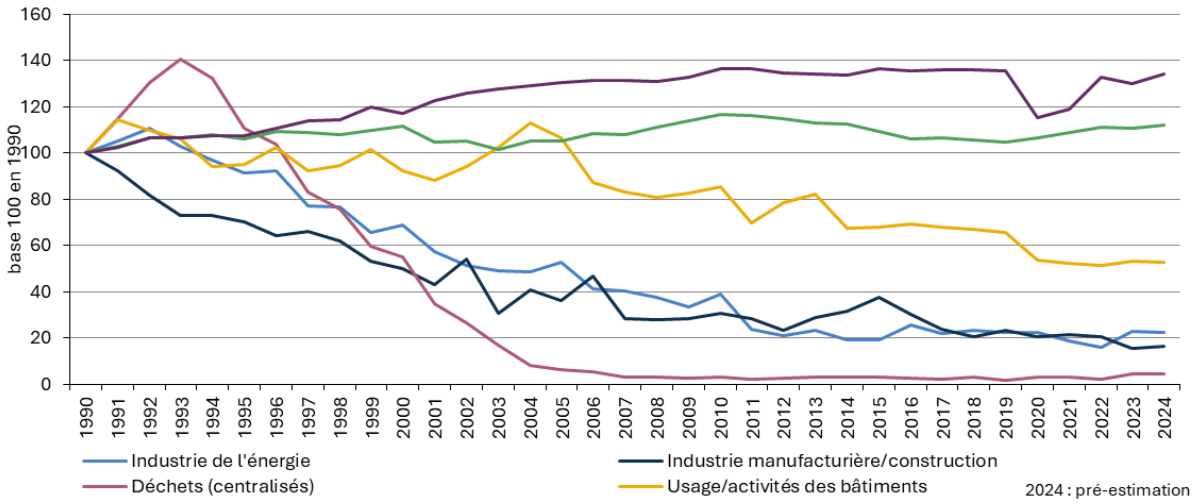
- l'industrie manufacturière, principalement du fait du sous-secteur des métaux ferreux et, en particulier, des aciéries électriques à la suite de la mise en place de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux.
- la transformation de l'énergie, à la suite de la mise en conformité progressive des usines d'incinération d'ordures ménagères avec récupération d'énergie (mise en place de dépoussiéreurs),

- le résidentiel/tertiaire, essentiellement du fait de l'amélioration des performances des équipements individuels brûlant du bois.

Les baisses observées dans les secteurs de la transformation de l'énergie et du résidentiel/tertiaire sont liées à une meilleure efficacité des dépoussiéreurs dans les centrales thermiques et à la combinaison entre la moindre consommation de bois (hivers doux) et le renouvellement du parc d'appareils de combustion du bois avec des appareils plus performants.



Evolution des émissions dans l'air de Cu depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Cu en base 100 en 1990 en France (Métropole)

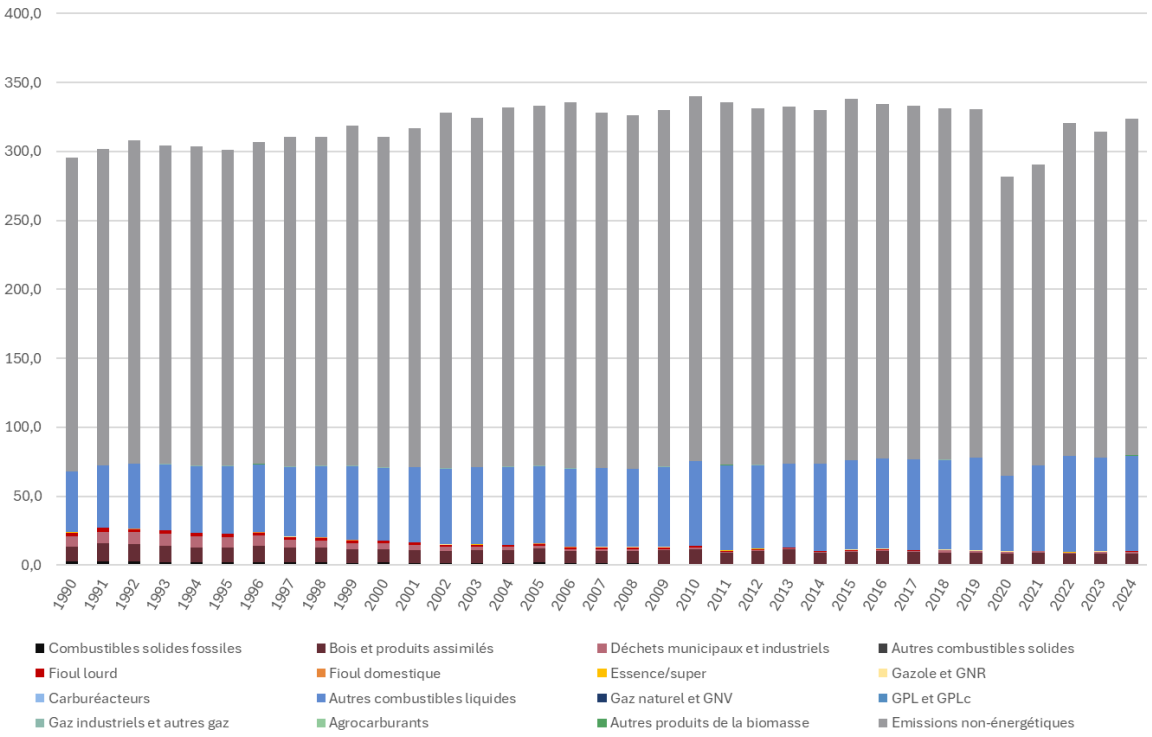
Évolution récente

Depuis 2015, il n'est pas observé de fluctuations majeures des émissions de Cu, sauf en 2020 en lien avec la crise sanitaire. Le secteur des transports, principal contributeur, voit ses émissions augmenter légèrement depuis le début des années 1990.

Dans le secteur de l'industrie, les émissions sont relativement stables depuis 2007, en légère baisse.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions énergétiques de cuivre représentent une part relative des émissions totales de cuivre oscillant autour de 23% en 1990 et 25% en 2023. Comme les émissions non-énergétiques, celles-ci augmentent depuis 1990, dirigée par la proportion prépondérante de ces émissions liées aux huiles et solvants usagés qui accusent une augmentation de 59% sur la période considérée passant de 64% des émissions énergétiques de cuivre en 1990 à 87% en 2023. Les bois et combustibles assimilés représentent également une part importante des émissions énergétiques de cuivre sur toute la même période.



Répartition des émissions de Cu par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de cuivre en France métropolitaine sont estimées en 2020 à 4,3 g par habitant et par an contre 6,0 g dans l'Union Européenne (UE-27[42]) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de cuivre de l'Union Européenne ont augmenté de 11% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-2742) étaient l'Allemagne, l'Italie, la Pologne et la France, émettant ensemble 63% du total de l'UE-2742 (EEA-UNECE).

[42] Sauf l'Autriche et le Luxembourg qui n'ont pas rapporté les émissions de cuivre sur leur territoire.

Hg | Mercure

Type

Polluant atmosphérique

Définition

Le mercure (Hg) est un composé présent à l'état naturel dans l'écorce terrestre que l'on retrouve dans les combustibles minéraux solides, le pétrole et la biomasse. C'est un métal lourd, reconnaissable à son aspect argenté brillant et le seul présent à l'état liquide dans des conditions normales de température et de pression.

Il est classé reprotoxique de catégorie 1B. Chez l'homme, le mercure élémentaire et le mercure inorganique affectent le système nerveux central et les reins. Le mercure est mortel par inhalation (H330) (ces doses ne se rencontrent pas dans l'air ambiant).

Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

Origine

Sources anthropiques : combustion de minéraux solides et de biomasse ; production de chlore ; métallurgie des métaux ferreux et non ferreux (production d'acier) ; incinération des déchets ; crémation ; batteries.

Sources naturelles : activité volcanique ; érosion des roches.

Phénomènes associés

Le mercure s'accumule dans la chaîne alimentaire. Il est très toxique (toxicité chronique) pour le milieu aquatique (classé H410) et présente une toxicité aigüe (classé H400) pour ce même milieu.

Effets

Santé, reprotoxique de catégorie 1B (Substances présumées toxiques pour la reproduction humaine).

Enjeux

Effets environnementaux/sanitaires

Le Plan national santé environnement pour la période 2015-2019 (PNSE 3) fait de la prévention aux risques liés à l'exposition aux métaux lourds tels que le mercure une de ses priorités. Il est en effet souligné que le mercure peut avoir des effets toxiques sur les systèmes nerveux, digestifs et immunitaire, et sur les poumons, les reins, la peau et les yeux.

Sources principales

Tous les secteurs contribuent aux émissions de mercure (Hg) de la France métropolitaine dans des proportions très variables. Le secteur de l'industrie manufacturière contribue majoritairement aux émissions. Les principales sources d'émissions sont :

- la métallurgie des métaux ferreux, en particulier du fait de l'agglomération de minerai et des fours électriques de production d'acier,
- la chimie, essentiellement la production de chlore,
- les minéraux non métalliques et matériaux de construction (principalement les cimenteries),
- le traitement des déchets, en particulier la crémation.
- Dans le secteur de la transformation d'énergie, les émissions proviennent majoritairement du sous-secteur des autres transformations d'énergie, plus particulièrement de l'incinération des déchets non dangereux avec récupération d'énergie.

Objectifs de réduction

Le Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds (adopté en 1998 et amendé en 2012) impose à la France de ne pas dépasser le niveau d'émission de mercure atteint en 1990 soit 25,6 tonnes émise par an. Aucun autre objectif plus contraignant ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

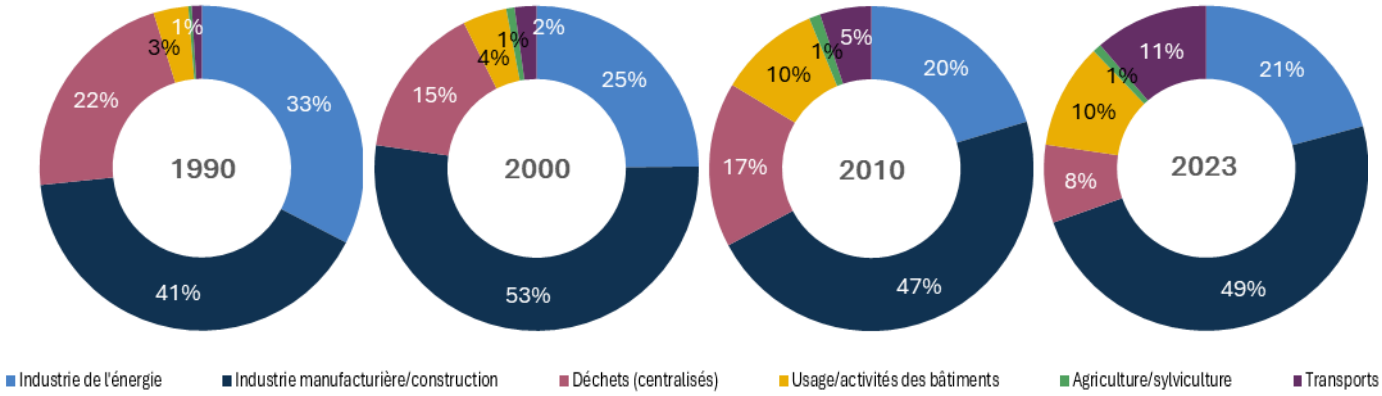
Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 30%.

A noter

La part hors total des émissions de mercure provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative croissante des émissions du total national évoluant entre 0,2% en 1990 et 0,9% en 2023. Depuis 1990, ces émissions ont diminué de 54%.

Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation, etc.) de mercure n'est calculée.

Principaux secteurs émetteurs



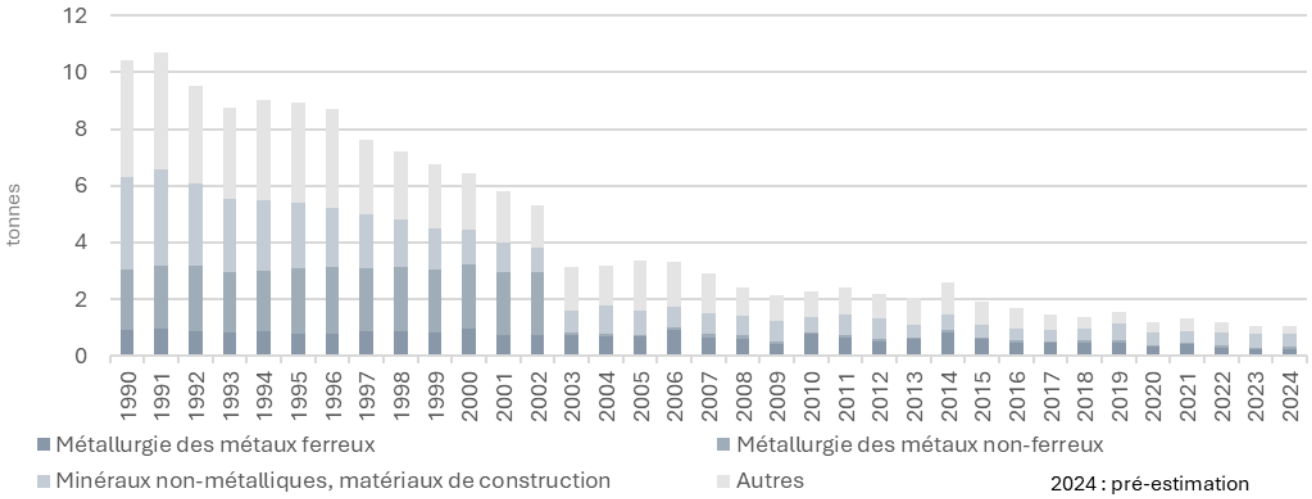
Répartition des émissions de mercure en France

Tendance générale

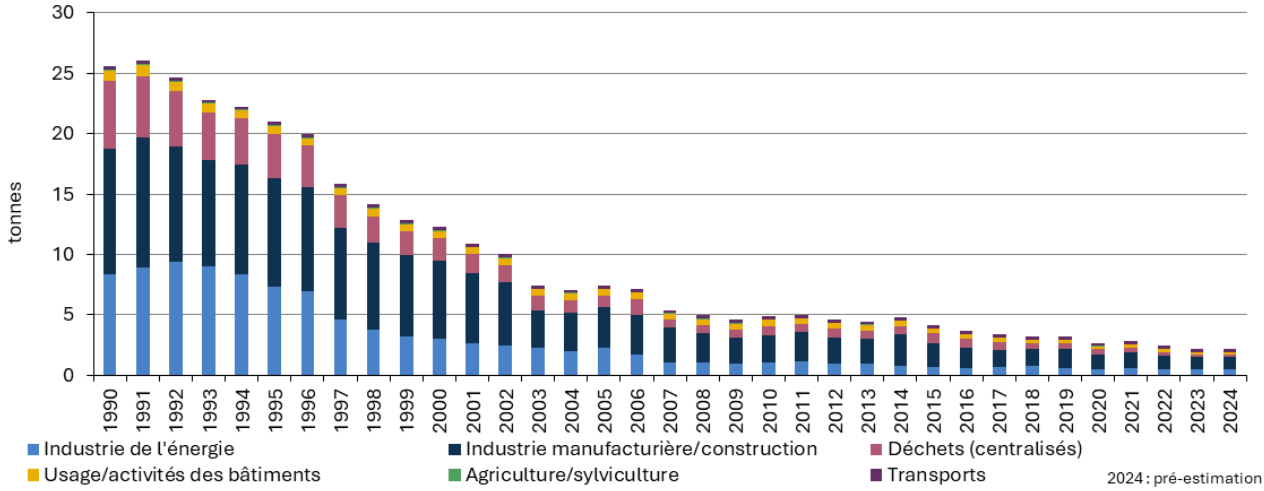
Sur la période 1990-2023, les émissions de mercure de la France métropolitaine sont en baisse de 92%. Cette baisse s'explique, en grande partie, par l'amélioration des performances de l'incinération des déchets (mise en conformité progressive des usines d'incinération d'ordures ménagères avec les arrêtés du 25 janvier 1991 et du 20 septembre 2002) mais aussi par la limitation ou l'interdiction de l'emploi de ce métal dans les piles et les thermomètres médicaux, par le tri des déchets, et enfin par l'optimisation des procédés de la production de chlore.

La réduction des substances toxiques était une priorité du Plan national santé environnement pour la période 2009-2013 (PNSE 2) prévu par le Grenelle de l'Environnement (cf. section « La France et l'international – 1.2.5 PNSE »).

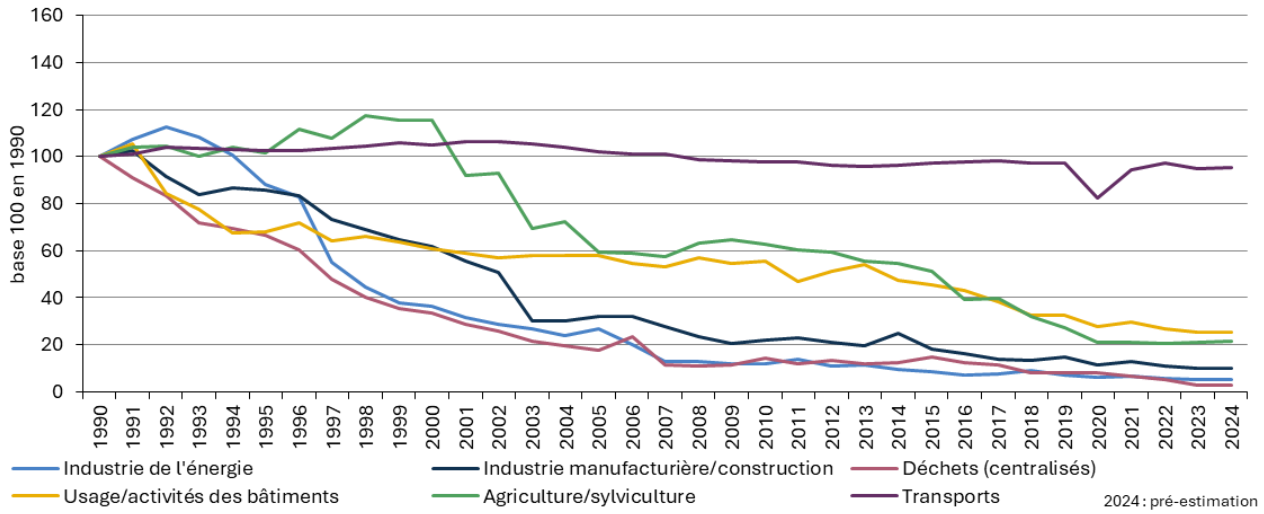
Enfin, il est important de noter que ces dernières années, le démantèlement ou la conversion des électrolyses à cathode de mercure en électrolyse à membrane (dans la production de chlore) doit être réalisé conformément aux meilleures techniques disponibles (MTD liées à la décision d'exécution n° 2013/732/UE du 09/12/13).



Répartition des émissions de Hg du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Hg depuis 1990 en France (Métropole)



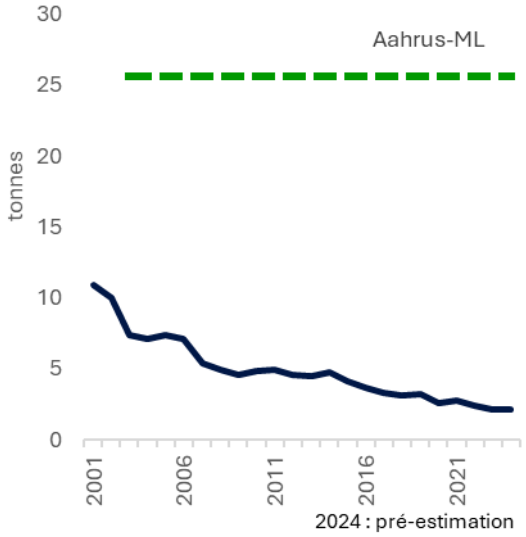
Evolution des émissions dans l'air de Hg en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Atteinte des objectifs

La France respecte cet objectif depuis 1992 puisque ses émissions de mercure sont globalement en baisse depuis cette année de référence.

Ainsi, l'objectif du Protocole d'Aarhus de ne pas dépasser un plafond d'émissions de 25,6 tonnes par an est largement respecté puisque les émissions réelles sont estimées à moins de 5 tonnes par an depuis la fin des années 2000, et continuent de se réduire.

En outre, La Convention de Minamata sur le mercure a été formellement adoptée le 10 octobre 2013 et est entrée en vigueur en 2017. Elle vise, entre autres, à réduire les émissions atmosphériques de mercure provenant des cinq catégories de sources ponctuelles : installations de production d'électricité au charbon, chaudières industrielles alimentées au charbon, production de métaux non ferreux, installations d'incinération des déchets, cimenteries. Après la ratification par l'UE en tant qu'organisation régionale d'intégration économique et sept de ses 28 États membres (Bulgarie, Danemark, Hongrie, Malte, Pays-Bas, Roumanie et Suède) mi-mai 2017, la Convention est entrée en vigueur le 16 août 2017. Au 14 mai 2025, 152 Parties ont ratifié la Convention (dont la France le 15 juin 2017).



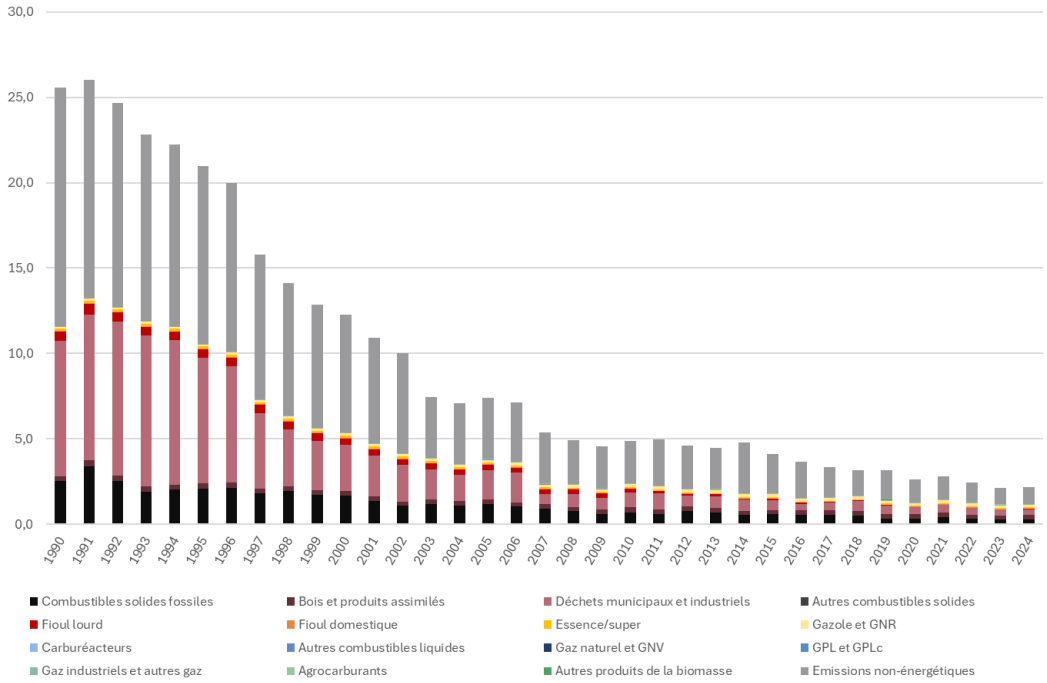
Emissions de Hg et objectif du Protocole d'Aarhus

Évolution récente

Depuis 2008, les émissions en France métropolitaine se situent en dessous de la barre des 5 tonnes. Toutefois, depuis cette date, on observe que la baisse des émissions est plus modérée au niveau des transports, où elle s'élève à 3,5% tandis que les autres secteurs diminuent d'au moins de 55% sur la période 2008-2023 après un léger pic en 2014. Cela se traduit donc par une part croissante du secteur du transport dans le total national : alors que celui-ci s'élevait à seulement 1% en 1990, il représente en 2023 plus de 11% des émissions. L'impact de la crise sanitaire et des confinements est visible sur l'évolution des émissions de mercure entre 2019 et 2020 (-18%), particulièrement dans le secteur de l'industrie manufacturière, sans qu'un rebond significatif soit observé en 2021. Au contraire, en 2023, les émissions ont diminué de 18% par rapport à 2020.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions énergétiques de mercure représentent une part importante des émissions totales de ce polluant et évolue entre 45% en 1990 et 54% en 2023. A l'instar des émissions non-énergétiques, celles-ci diminuent depuis 1990, notamment la part prépondérante de ces émissions liée aux CMS et aux déchets municipaux et industriels, qui accuse une diminution de 94% sur la période considérée, passant de 90% des émissions énergétiques de mercure en 1990 à 51% en 2023.



Répartition des émissions de Hg par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

Le 19 septembre 2018, l'Agence européenne pour l'Environnement (AEE) a publié un rapport sur le mercure qui décrit le problème de la pollution par le mercure (dont les émissions atmosphériques) et les défis pour lutter au niveau mondial contre cette pollution. Voir communiqué et rapport de l'AEE. A titre de comparaison, les émissions de mercure en France métropolitaine sont estimées en 2022 à 37 mg par habitant et par an contre 80 mg dans l'Union Européenne (UE-27) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de mercure de l'Union Européenne ont diminué de 75% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-27) étaient la Pologne, l'Italie, la France et l'Espagne.

Ni | Nickel

Type

Polluant atmosphérique

Définition

Le nickel est un métal représentant 0,8 à 0,9% de la croûte terrestre. Il est présent dans divers minerais. Il est largement utilisé dans la production d'acier.

Le métal et ses composés inorganiques sont considérés comme peu toxiques. Ils peuvent entraîner des troubles cutanés. Il est classé cancérigène possible pour l'homme (groupe 2B). Les composés inorganiques peuvent être extrêmement toxiques.

Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

Origine

Sources anthropiques : combustion de fioul lourd et d'autres produits pétroliers ; raffinage du pétrole ; abrasion des routes et usure des freins ; sidérurgie.

Sources naturelles : érosion des roches, activité volcanique.

Phénomènes associés

Le nickel présente une toxicité chronique de niveau 3 pour les organismes aquatiques, entraînant des effets néfastes à long terme (classé H 412).

Effets

Santé.

Classé cancérigène possible pour l'homme (2B) selon le CIRC

Enjeux

Sources principales

Deux secteurs contribuent majoritairement aux émissions de nickel :

- l'industrie manufacturière, dont les origines des émissions sont principalement la combustion de fioul lourd dans les différentes branches d'activité ainsi que les installations sidérurgiques (agglomération de minerai et aciéries électriques),
- la transformation d'énergie, dont les émissions proviennent en grande majorité du raffinage de pétrole, mais aussi de la combustion de fioul lourd dans la production d'électricité et le chauffage urbain.

La principale source d'émission de nickel est la présence de ce métal à l'état de traces dans le fioul lourd et dans d'autres combustibles liquides. Pour le transport routier, les émissions sont induites par la combustion des carburants et d'une partie de l'huile dans les moteurs, ainsi que par l'abrasion des routes et l'usure des freins.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

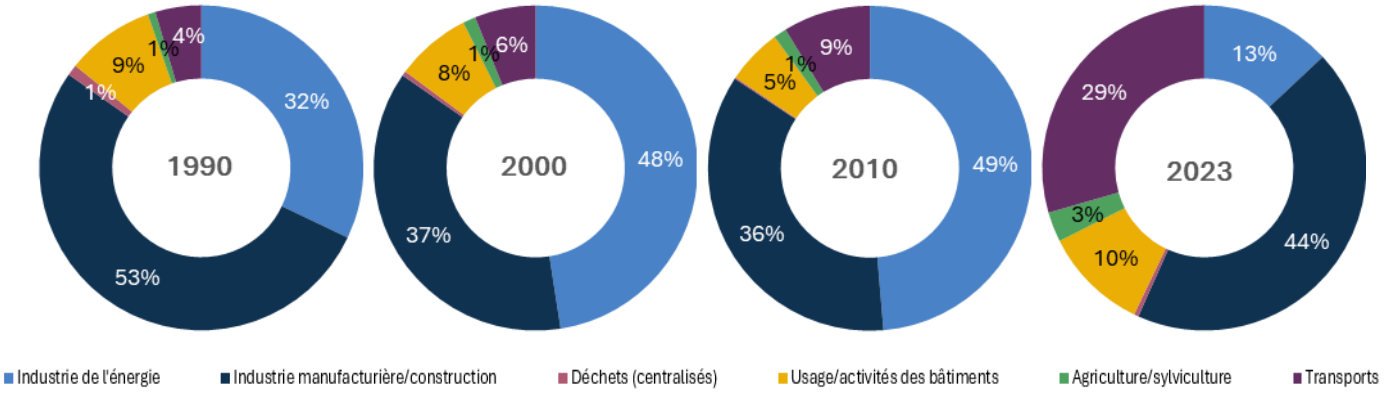
▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 50%.

A noter

La part hors total des émissions de nickel provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative croissante des émissions du total national, évoluant entre 21% en 1990 et jusqu'à dépasser le total national en 2011 (culminant à 206% en 2018). Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation, etc.) de nickel n'est calculée.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de nickel en France

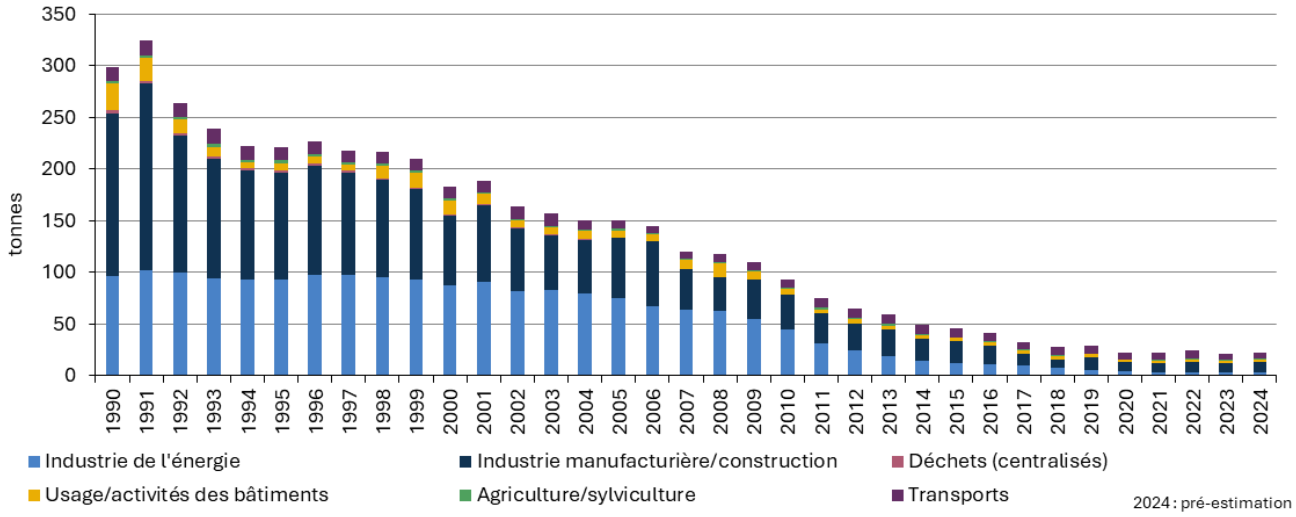
Tendance générale

Le niveau des émissions de nickel (Ni) en 2023 correspond à une baisse de 93% par rapport à 1990. La contribution des différents secteurs aux émissions de nickel est disparate.

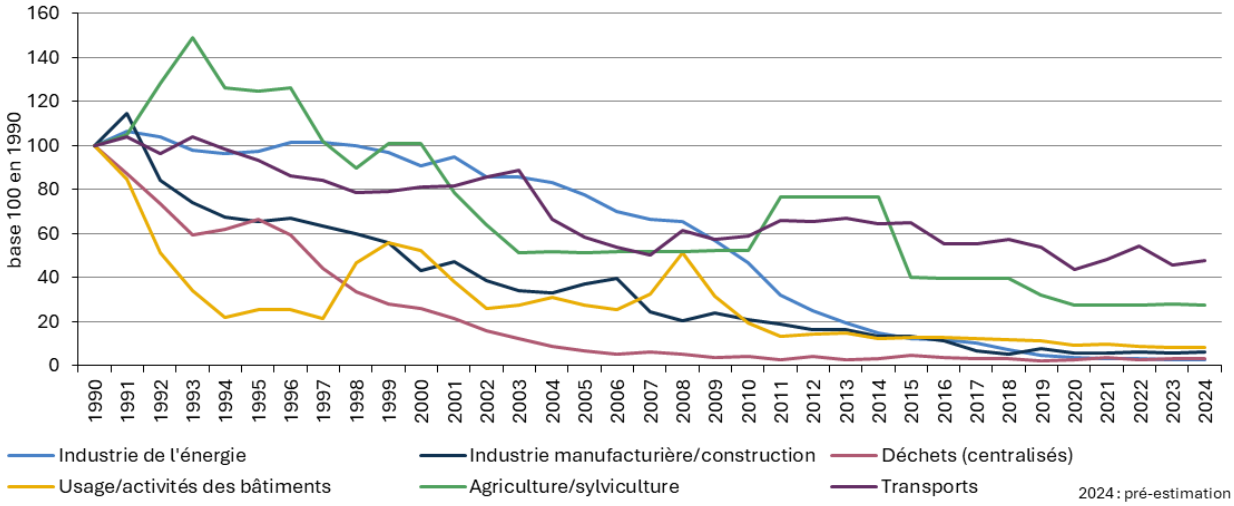
Sur l'ensemble de la période, les importantes fluctuations observées en fonction des années s'expliquent, en partie, par les conjonctures climatiques et techniques très variables (moindre disponibilité du nucléaire ou forte vague de froid).

Depuis 1990, les émissions de Ni sont en baisse :

- dans l'industrie manufacturière, la baisse provient, d'une part, d'une diminution de la consommation de fioul lourd et, d'autre part, de la mise en œuvre de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux dans les aciéries électriques.
- dans le secteur de la transformation d'énergie, la baisse est aussi liée à la réduction de la consommation de fioul lourd pour le raffinage du pétrole, le chauffage urbain et la production d'électricité.
- Des années atypiques s'observent sur la période :
- l'année 1991 correspond à une année très froide (recours accru aux énergies fossiles, en particulier au fioul),
- l'année 2011, marquée par une baisse des émissions du secteur par rapport à 2010, est également une année particulière, s'expliquant cette fois-ci par la douceur du climat,
- la nouvelle baisse observée depuis 2012 dans ce même secteur s'explique par la baisse d'activité dans le raffinage du pétrole (deux sites à l'arrêt). Cette tendance s'accentue en 2014 et 2015, du fait de la douceur exceptionnelle du climat ces années-là.



Evolution des émissions dans l'air de Ni depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Ni en base 100 en 1990 en France (Métropole)

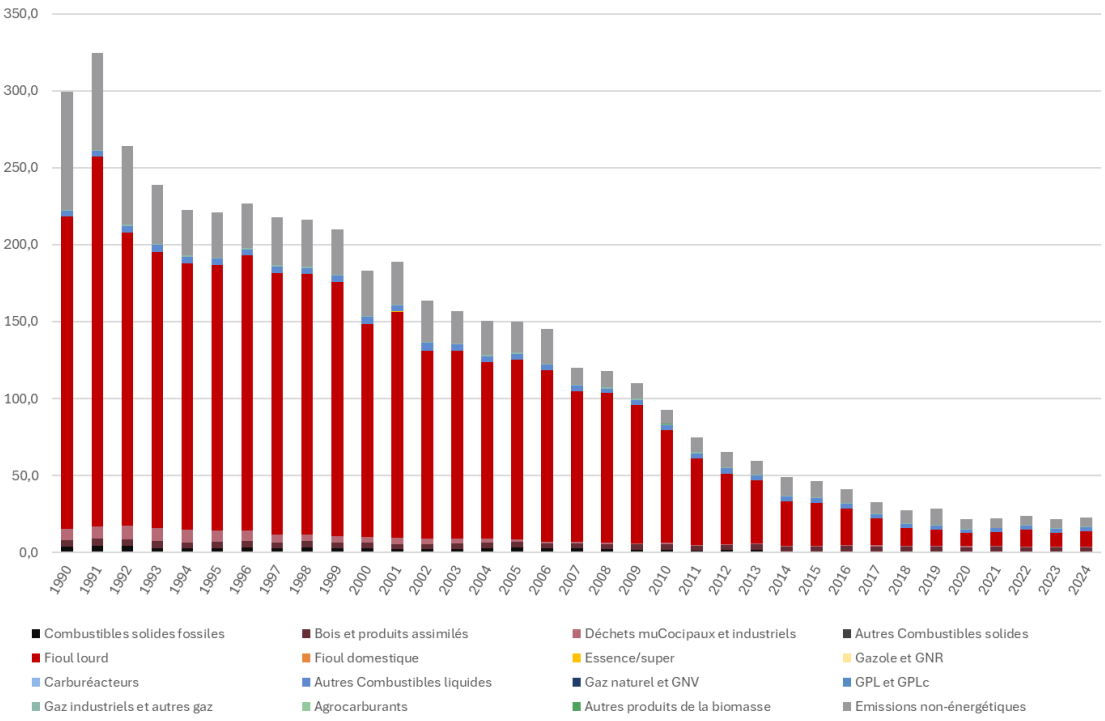
Évolution récente

Les années 2016 et 2017 n'ayant pas été très froides (indice de rigueur inférieur à 1), les consommations de produits pétroliers ainsi que les émissions associées continuent de baisser. Il convient de noter que, pour le nickel, les émissions « hors total », correspondant au transport maritime international, sont plus élevées que les émissions du périmètre Secten depuis 2011.

La crise sanitaire et les périodes de confinement ont entraîné une baisse conjoncturelle notable des émissions de nickel entre 2019 et 2020 (-25%) principalement à des baisses d'activité dans l'industrie de l'énergie, dans l'industrie manufacturière et dans les transports. La reprise économique en 2021 dans ces secteurs a entraîné un rebond limité de 1,4% des émissions de nickel entre 2020 et 2021 et de 8,4% entre 2021 et 2022. Elles diminuent à nouveau entre 2022 et 2023 à hauteur de 10%, retrouvant un niveau similaire à celui de 2020.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions énergétiques de nickel représentent la part majoritaire des émissions totales de ce polluant et évoluent entre 62% et 91% selon l'année considérée. A l'instar des émissions non-énergétiques, celles-ci diminuent depuis 1990, notamment la part prépondérante de ces émissions liée au fioul lourd qui accuse une diminution de 95% sur la période considérée, passant de 87% des émissions énergétiques en 1990 à 31% en 2023.



Répartition des émissions de Ni par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de nickel en France métropolitaine sont estimées en 2022 à 0,32 g par habitant et par an contre 0,98 g dans l'Union Européenne (UE-27[43]) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de nickel de l'Union Européenne ont diminué de 77% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-2743) étaient l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie et la Lituanie (EEA-UNECE).

[43] Sauf l'Autriche et le Luxembourg qui n'ont pas rapporté les émissions de nickel sur leur territoire.

Pb | Plomb

Type

Polluant atmosphérique

Définition

Le plomb (Pb) est un composé présent à l'état naturel dans toutes les sphères environnementales mais principalement dans l'écorce terrestre et le sol. Il se retrouve aussi dans les carburants, le fioul lourd, les combustibles fossiles solides et la biomasse.

Les composés du plomb sont généralement classés reprotoxiques (H360FD), nocifs par inhalation et dangereux pour l'environnement. Le plomb est classé cancérigène possible pour l'homme (2B) selon le CIRC.

Origine Sources anthropiques : combustion de carburants, de fioul lourd, de combustibles minéraux solides et de biomasse ; première et seconde fusion du plomb ; fabrication de batteries électriques ; production de verre (cristal) ; métallurgie des métaux ferreux et non ferreux ; abrasion des routes et usure des freins ; incinération de déchets ; combustion d'essence plombée dans transport routier (jusqu'en 1999).

Sources naturelles : érosion des sols et des roches.

Phénomènes associés

Forte toxicité chronique des composés du plomb, de niveau 1, pour les organismes aquatiques (classé H 410)

Effets

Santé.

Classé cancérigène possible pour l'homme (2B) selon le CIRC

Enjeux

Sources principales

Tous les secteurs contribuent aux émissions de plomb (Pb) de la France métropolitaine dans des proportions très variables et les principales sources d'émissions sont :

- le secteur des transports,
- l'industrie manufacturière notamment la métallurgie des métaux ferreux,
- le secteur résidentiel/tertiaire.

Objectifs de réduction

Le Protocole d'Aarhus sur les métaux lourds (adopté en 1998 et amendé en 2012) impose à la France de ne pas dépasser le niveau d'émission de plomb atteint en 1990, soit 4 288 tonnes émises par an.

Aucun autre objectif plus contraignant ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

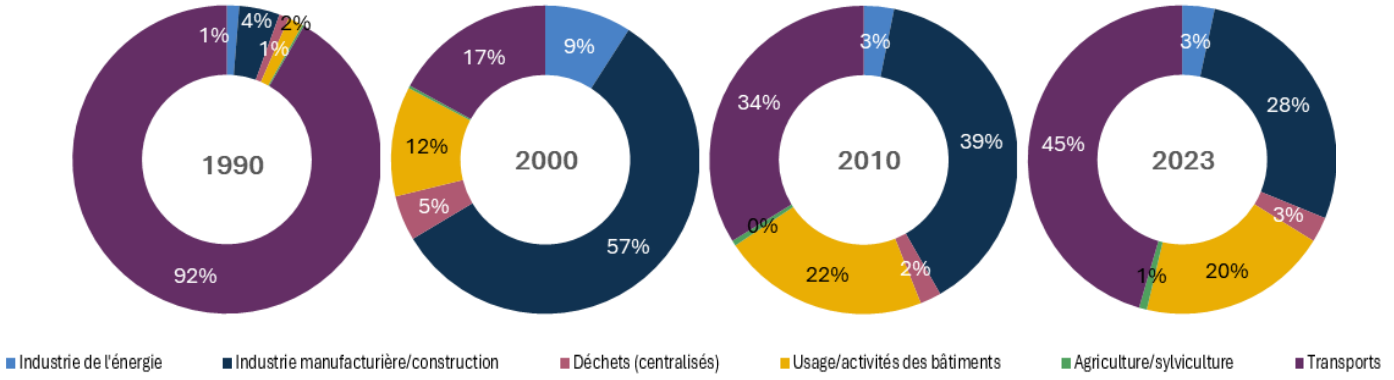
▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 134%.

A noter

La part hors total des émissions de plomb provient uniquement du transport maritime et aérien internationaux et représente une proportion relative croissante des émissions du total national évoluant entre 0,3% en 1990 jusqu'à 8,1% en 2023, culminant à 11% en 2011. Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation, etc.) de plomb n'est calculée.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de plomb en France

Tendance générale

Les émissions de plomb (Pb) en France métropolitaine ont très fortement baissé (de près d'un facteur 50) depuis 1990. La structure des émissions est très fluctuante selon les années, toutefois le transport routier reste l'un des principaux contributeurs aux émissions.

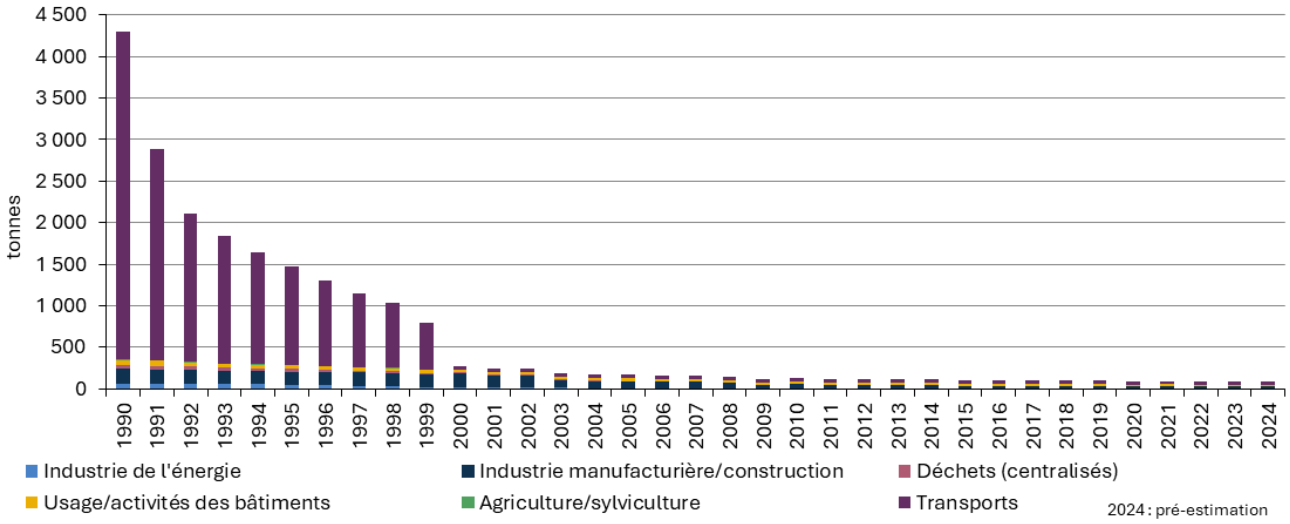
De 1990 à 1999, le transport routier était prédominant. La mise en place de pots catalytiques à partir de 1993 a entraîné l'interdiction de l'utilisation d'essence plombée à partir du 1er janvier 2000. À partir de 1999, la contribution du transport routier chute fortement. De plus, quelle que soit l'année, en plus de la consommation de carburants, des émissions induites par l'utilisation d'une partie de l'huile dans les moteurs et par l'abrasion des routes, l'usure des freins et des pneumatiques sont comptabilisées. L'usure des freins et des pneumatiques est, depuis 2000, la plus forte source d'émission dans le transport routier (99,9% en 2023).

Les émissions du secteur résidentiel/tertiaire sont imputables, en grande partie, à la consommation de bois dans le résidentiel. La baisse des émissions de ce secteur depuis1990 s'explique par l'amélioration des performances des équipements individuels de combustion du bois.

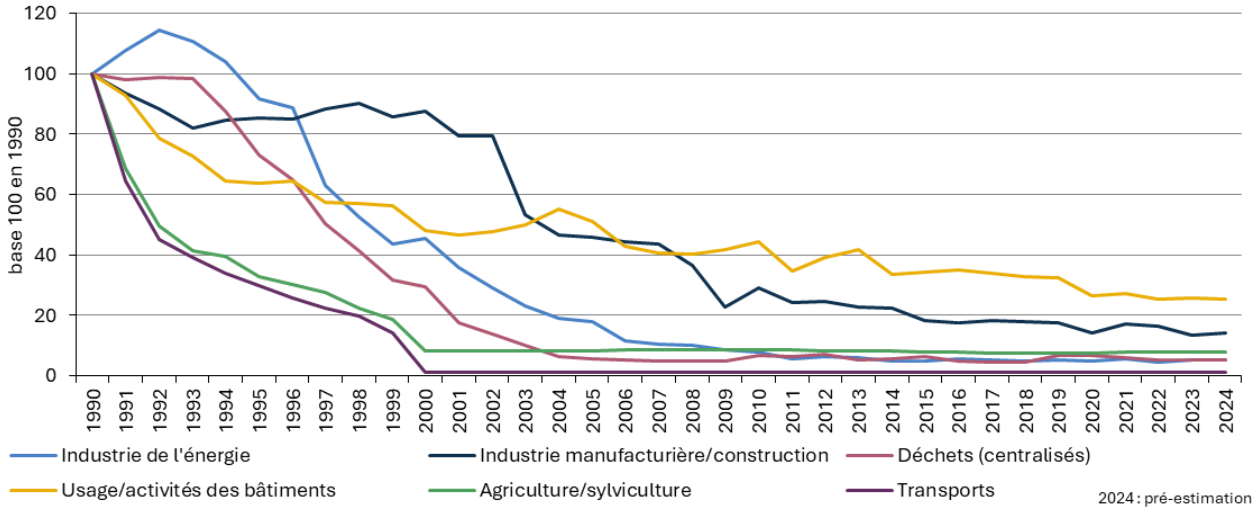
Les émissions du secteur des transports hors routier proviennent presque exclusivement de l'essence utilisée pour les besoins de l'aviation. La baisse observée dans ce secteur sur la période s'explique par la réduction de la consommation de ce carburant.

En 2023, l'industrie manufacturière est l'un des premiers secteurs émetteurs, du fait principalement de la métallurgie des métaux ferreux. La baisse observée depuis 1990 dans ce secteur est liée, d'une part, à la fermeture d'un important site de production de métaux non ferreux en 2003 et, d'autre part, à la mise en place de dépoussiéreurs sur de nombreuses installations industrielles. Par exemple, la forte baisse des émissions de ce secteur entre 2008 et 2009 est due à la mise en place en 2009 de nombreux équipements de réduction des particules sur des fours verriers (verre creux en particulier). La crise financière de 2008, qui a eu pour effet un ralentissement de l'activité industrielle, a également joué un rôle dans cette baisse. Une nouvelle baisse importante apparait entre 2014 et 2015 dans le secteur de l'agglomération de minerai (du fait de la qualité des minerais approvisionnés) dans le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux. Les résultats sont également liés à la baisse des rejets canalisés de poussières des chaînes d'agglomération.

Les émissions de la transformation d'énergie proviennent majoritairement de la consommation de charbon par les centrales thermiques et des usines d'incinération de déchets non dangereux (UIDND) avec récupération d'énergie. La forte baisse observée entre depuis 1990 est liée à la mise en conformité progressive des UIDND avec les arrêtés du 25 janvier 1991 et du 20 septembre 2002.



Evolution des émissions dans l'air de Pb depuis 1990 en France (Métropole)

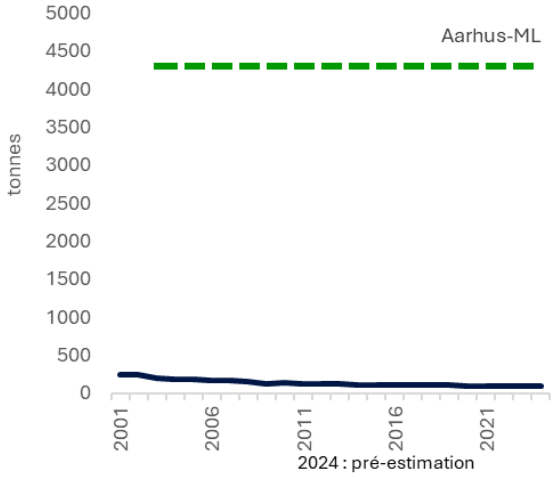


Evolution des émissions dans l'air de Pb en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Atteinte des objectifs

La France respecte l'objectif issu du protocole d'Aarhus depuis 1991 puisque ses émissions de plomb sont en baisse depuis cette année.

Le niveau à ne pas dépasser dans le cadre de de Protocole s'élève à 4 288 tonnes par an. Les émissions réelles sont estimées à moins de 100 tonnes par an lors des années récentes. Cet objectif est donc largement respecté.



Évolution récente

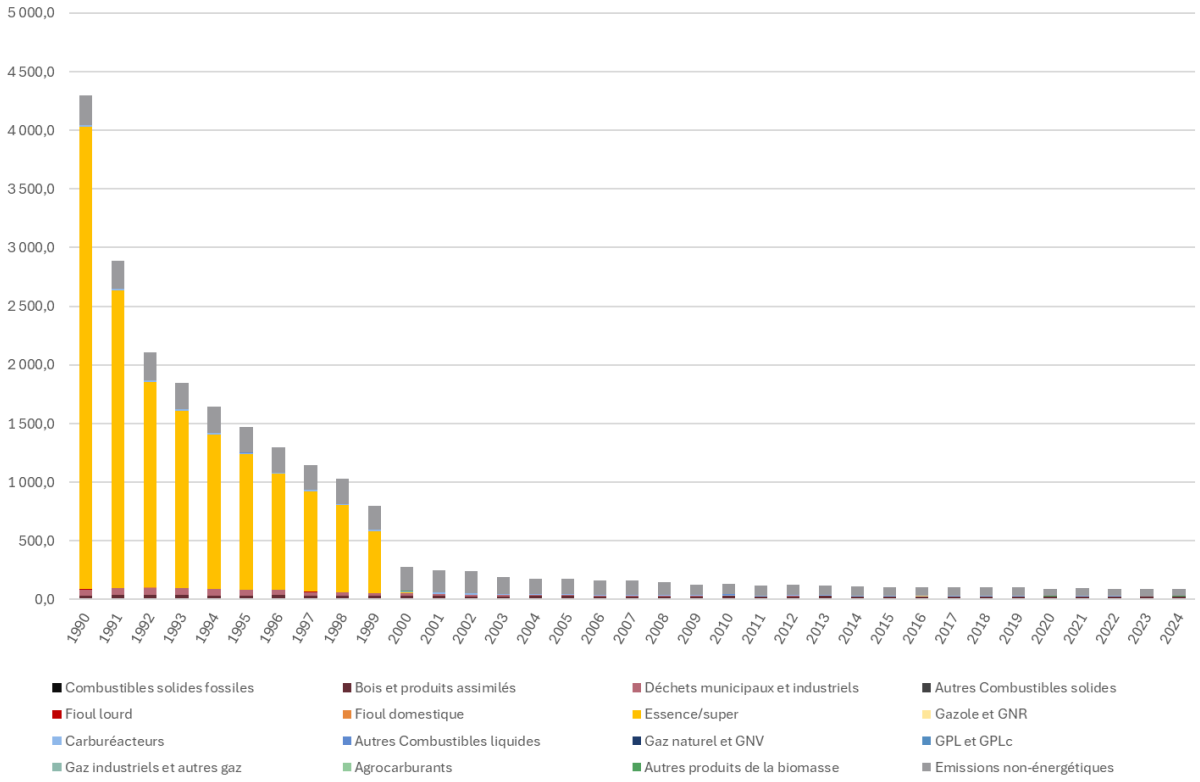
Sur la période 2010-2022, les émissions de plomb ont connu une baisse de 36%, imputable en grande partie à l'industrie manufacturière et à l'usage des bâtiments.

L'impact de la crise sanitaire et des confinements est visible sur l'évolution des émissions de plomb entre 2019 et 2020 (-13%), particulièrement dans le secteur de l'industrie manufacturière et dans celui des transports. Les émissions sont marquées par un rebond limité entre 2020 et 2021 de +6,1% du fait de la reprise de l'activité économique dans ces secteurs. La baisse des émissions se poursuit depuis 2022, atteignant en 2023 un niveau inférieur à celui de 2020 (87 t en 2023 contre 91 t en 2020).

Le Plan national santé environnement pour la période 2015-2019 (PNSE 3) fait de la prévention aux risques liés à l'exposition aux métaux lourds tels que le plomb une de ses priorités.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions énergétiques de plomb représentent la part majoritaire des émissions totales de ce polluant en 1990 (94%), mais diminuent très fortement et correspond à 33% des émissions totales en 2023. Celles-ci diminuent très fortement sur la période 1990-2000 pour les raisons évoquées au paragraphe ci-dessus. Si l'essence est responsable de la quasi-totalité des émissions énergétiques de plomb en 1990 (98%), le bois et les carburéacteurs totalisent 94% de ces émissions en 2023.



Répartition des émissions de Pb par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de plomb en France métropolitaine sont estimées en 2022 à 1,3 g par habitant et par an contre 2,4 g dans l'Union Européenne (UE-27) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de plomb de l'Union Européenne ont diminué de 95% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-27) étaient la Pologne, l'Italie et la Roumanie.

Se | Sélénium

Type

Polluant atmosphérique

Définition

Le sélénium (Se) est un composé présent à l'état naturel dans l'écorce terrestre qui se retrouve en trace dans la biomasse et le fioul lourd.

C'est un métal, reconnaissable à sa couleur grisée, qui est un micronutriment essentiel pour la majorité des espèces animales (dont l'homme). Il peut toutefois être très irritant pour le système respiratoire et à l'origine de troubles gastro-intestinaux si inhalé à forte dose.

Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

Origine

Sources anthropiques : combustion de fioul lourd, de carburants et de biomasse ; usure des plaquettes de frein et pneumatiques et abrasion des routes (transport routier) ; production de verre ; production de ciment ; métallurgie des métaux ferreux ; engrais chimiques.

Sources naturelles : érosion des roches ; feux de forêts.

Phénomènes associés

Le sélénium peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques (H413) (toxicité chronique niveau 4)

Effets

En exposition chronique, effets sur les organismes aquatiques

Enjeux

Sources principales

Dans l'industrie manufacturière, le sélénium est utilisé dans la production de verre afin de colorer le verre. Ce secteur est donc la principale source d'émissions de Se en France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

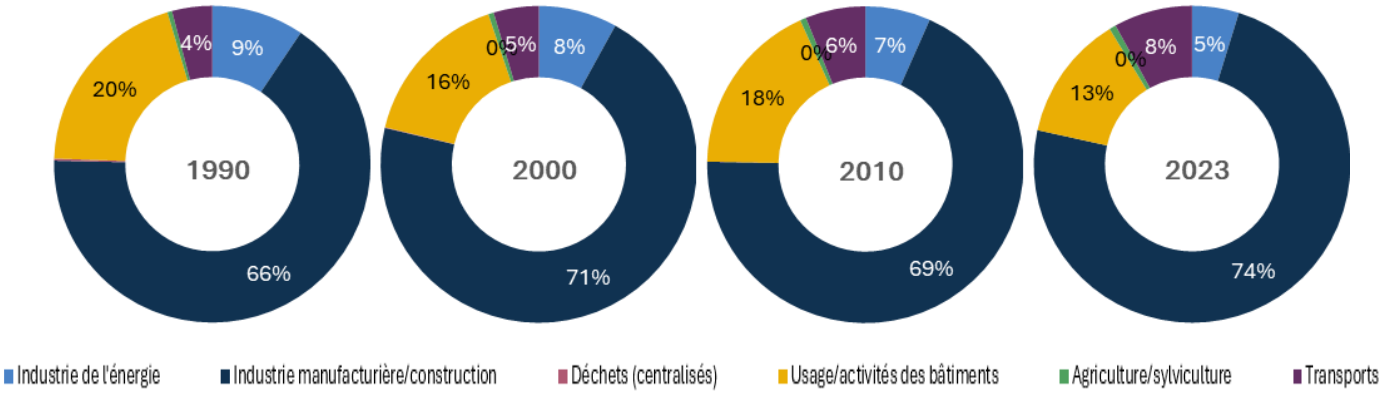
▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 75%.

A noter

La part hors total des émissions de sélénium provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative quasi-constante des émissions du total national évoluant entre 3,2% et 2,3% entre 1990 et 2023. Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation, etc.) de sélénium n'est calculée.

Principaux secteurs émetteurs



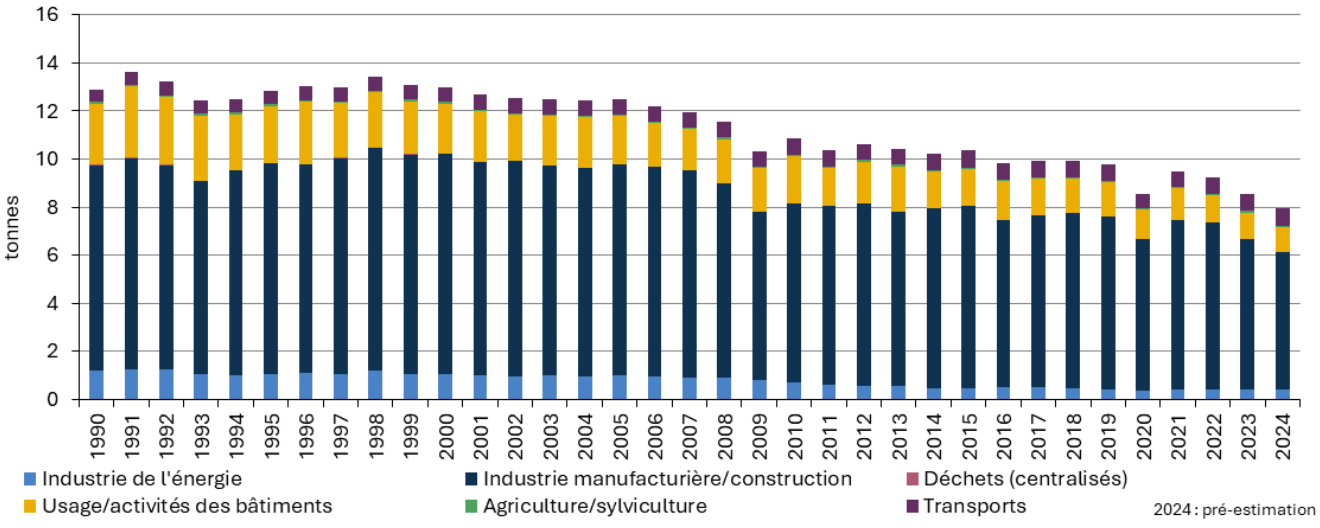
Répartition des émissions de sélénium en France

Tendance générale

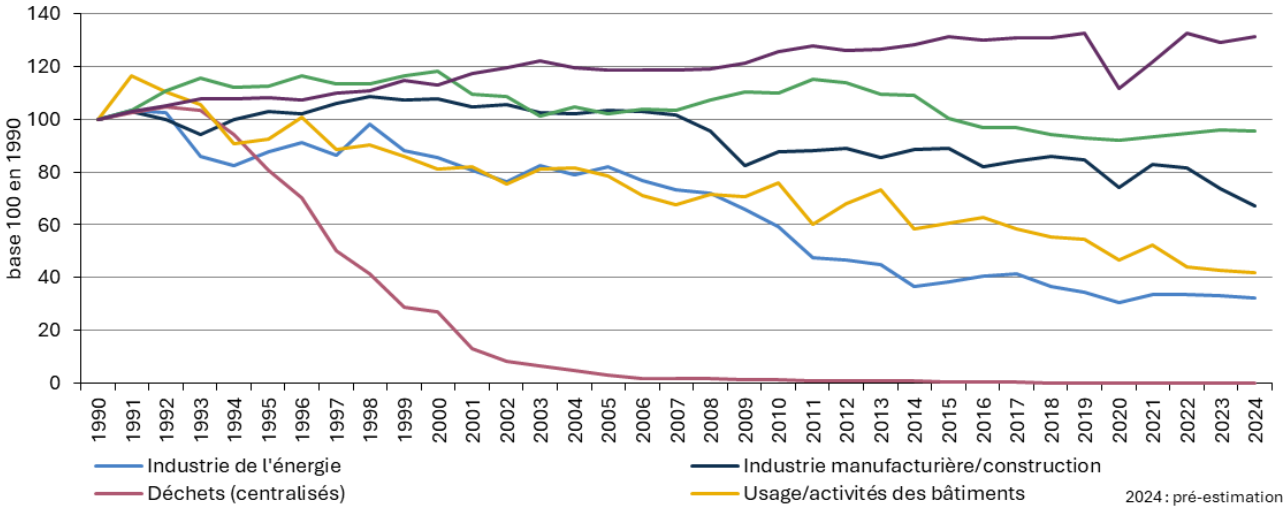
Les émissions de sélénium (Se) en 2023 sont en baisse de 34% par rapport au niveau de 1990. Ces émissions sont induites par tous les secteurs d'activité mais dans des proportions très différentes. Sur l'ensemble des secteurs concernés, le secteur de l'industrie manufacturière est de loin la principale source émettrice (74% en 2023).

Pour les secteurs consommateurs de combustibles (transformation d'énergie, résidentiel/tertiaire et industrie manufacturière), les émissions proviennent essentiellement de l'utilisation du fioul lourd et de bois-énergie en raison des traces de ce métal qu'ils contiennent. La baisse des émissions depuis 1990 s'explique essentiellement par la variation de la consommation de ces combustibles.

Dans le secteur du transport routier, les émissions proviennent de la combustion des carburants ainsi que de l'abrasion des freins et des pneumatiques.



Evolution des émissions dans l'air de Se depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Se en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

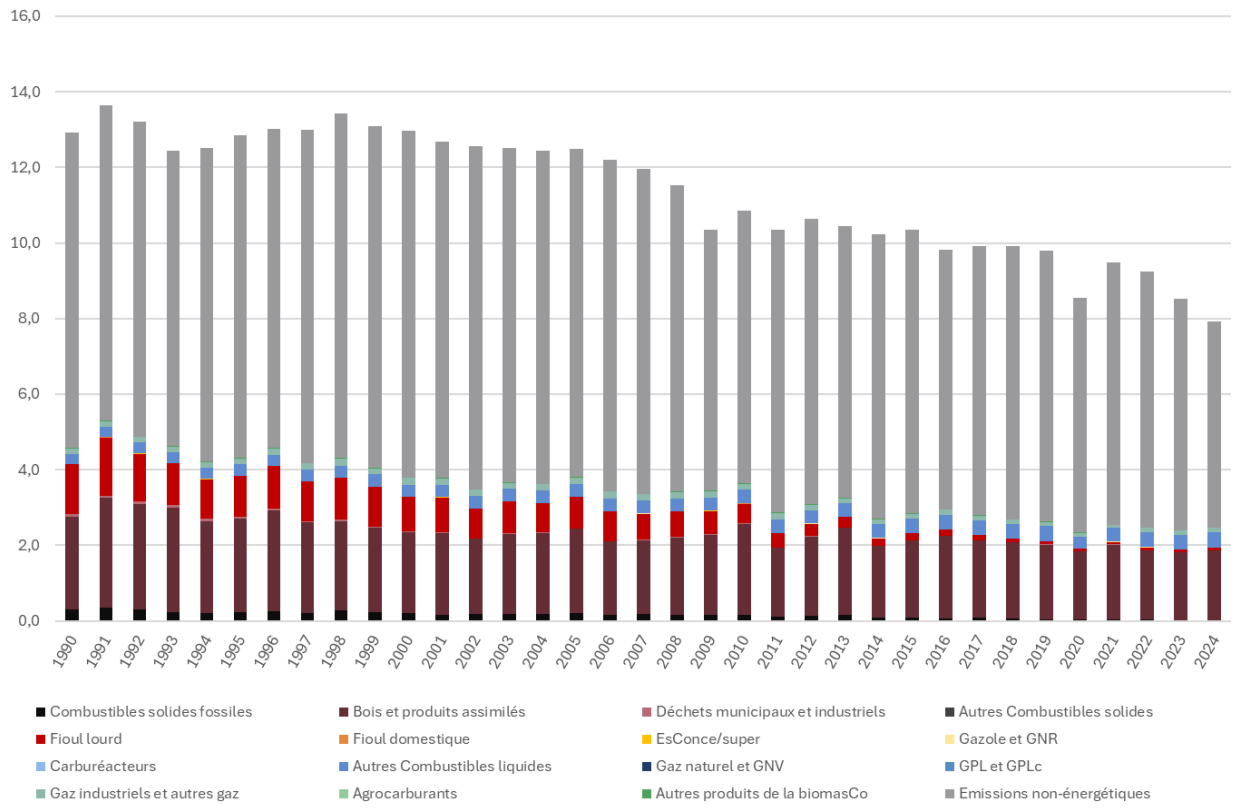
Lors des dernières années, les émissions suivent principalement la même évolution que celle de la production de verre.

Depuis 2010, les émissions de sélénium sont en légère baisse, qui s'accentue en 2016 et en 2023. L'impact de la crise sanitaire et des confinements est visible sur l'évolution des émissions de sélénium entre 2019 et 2020 (-12%) particulièrement celles dans le secteur de l'industrie manufacturière qui reprennent quasiment leur niveau de 2019 en 2021 (+11% dans ce secteur ainsi que dans le total national par rapport à 2020). En 2022 puis en 2023, elles diminuent de nouveau pour revenir au niveau de 2020, ce qui s'explique principalement par la baisse des émissions de l'industrie manufacturière, notamment du secteur des minéraux non-métalliques et matériaux de construction (-9,0% entre 2021 et 2023).

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions énergétiques de sélénium représentent une part importante des émissions totales de ce polluant évoluant entre 35% en 1990 et 28% en 2023 de ce total. Les combustibles bois et fioul lourd étaient responsables de la majorité de ces émissions énergétiques en 1990, respectivement 54% et 28%. En 2023, le bois reste le contributeur majeur, représentant 74% des émissions énergétiques, suivi par les émissions des huiles et solvants usagers, avec 16%.

L'ensemble de ces émissions ont diminué de 47% sur la période considérée.



Répartition des émissions de Se par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de sélénium en France métropolitaine sont estimées en 2020 à 133 g par habitant et par an contre 202 g dans l'Union Européenne (UE-27[44]) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de sélénium de l'Union Européenne ont diminué de 56% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-2744) étaient la République Tchèque, la Bulgarie et la France.

[44] Sauf l'Autriche et le Luxembourg qui n'ont pas rapporté les émissions de sélénium sur leur territoire.

Zn | Zinc

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Le zinc (Zn) est présent de façon naturelle dans l'écorce terrestre. Les minerais de zinc sont très répandus. Le zinc est présent dans des combustibles fossiles solides, le fioul lourd et dans la biomasse.

C'est un oligo-élément à faible dose mais qui peut être toxique à forte dose (en fonction de sa nature chimique).

Origine
Sources anthropiques : usure des plaquettes de frein et pneumatiques et abrasion des routes (transport routier) ; combustion de carburants, de fioul lourd, de combustibles minéraux solides et de biomasse ; métallurgie des métaux ferreux (aciéries électriques) et non ferreux ; incinération de déchets.

Sources naturelles : érosion des sols et roches ; activité volcanique.

Phénomènes associés
Le chlorure de zinc comme le sulfate de zinc, par exemple, sont très toxiques pour les organismes aquatiques, entraînent des effets néfastes à long terme (classé H410).

Effets

Santé

Enjeux

Sources principales

Tous les secteurs contribuent aux émissions de zinc (Zn) de la France métropolitaine dans des proportions très variables et les principales sources d'émissions sont :

- l'industrie manufacturière notamment la métallurgie des métaux ferreux,
- le secteur des transports,
- le secteur résidentiel/tertiaire.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

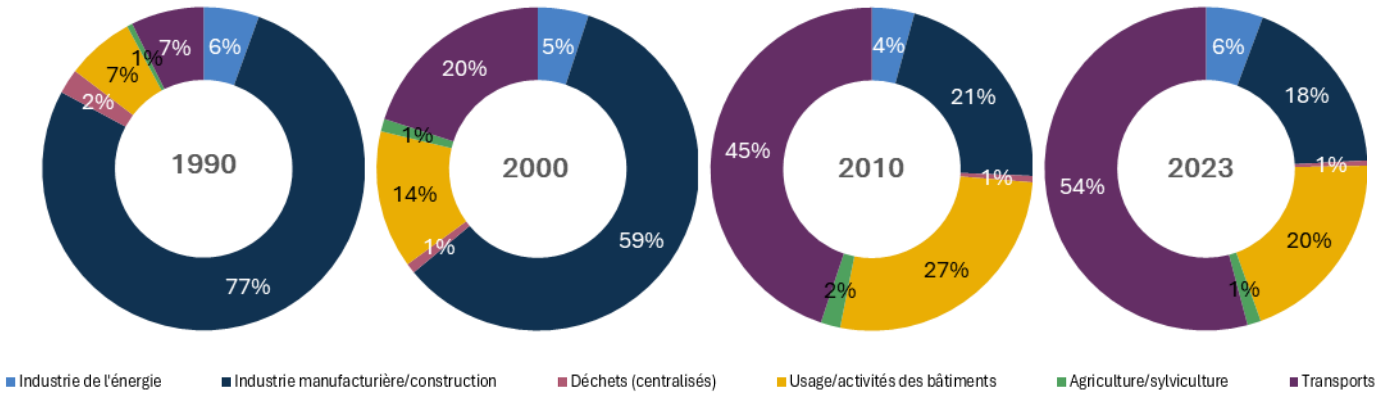
▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 96%.

A noter

La part hors total des émissions de zinc provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative faible des émissions du total national (entre 1 et 5%). Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation, etc.) de zinc n'est calculée.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de zinc en France

Tendance générale

En 2023, le transport routier est le secteur prédominant dans les émissions de Zn de la France métropolitaine (53%), suivi par l'usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires (20%) et les industries manufacturières et la construction (18%).

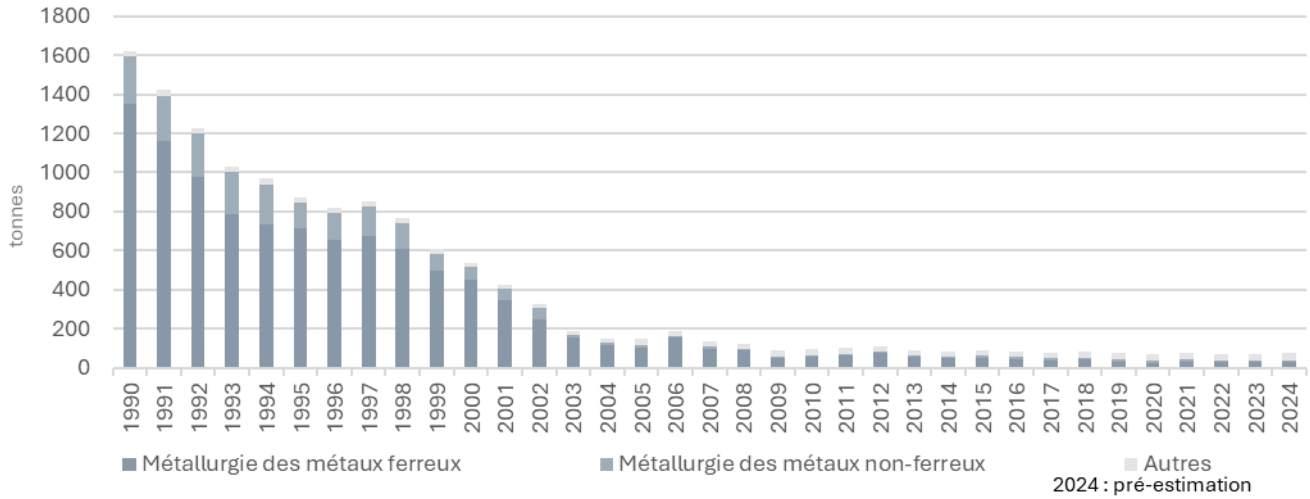
Dans le secteur du transport routier, les émissions proviennent à la fois de la consommation des carburants et d'une partie de l'huile moteur, pour tous les types de véhicules, ainsi que de l'abrasion des routes, de l'usure des pneumatiques et des freins. Le niveau des émissions fluctue relativement peu sur depuis 1990. De 2010 à 2019, on observe une légère tendance à la hausse, qui s'inverse légèrement depuis 2022 après une baisse (-14% entre 2019 et 2020), puis un regain (+13% entre 2020 et 2022) des émissions, à la suite de la crise sanitaire de 2020.

Dans l'industrie manufacturière, la métallurgie des métaux ferreux est prédominante (39%), en particulier du fait des émissions induites par les aciéries électriques. La baisse des émissions dans ce secteur depuis 1990 s'explique par l'efficacité des techniques de réduction mises en place dans les aciéries électriques. Toutefois, selon la variabilité du fonctionnement de ces aciéries, ce secteur est la cause principale de l'augmentation ponctuelle des émissions totales de zinc observée. La fermeture, en 2003, d'un important site de la métallurgie des métaux non ferreux a conduit à la réduction des émissions de ce secteur.

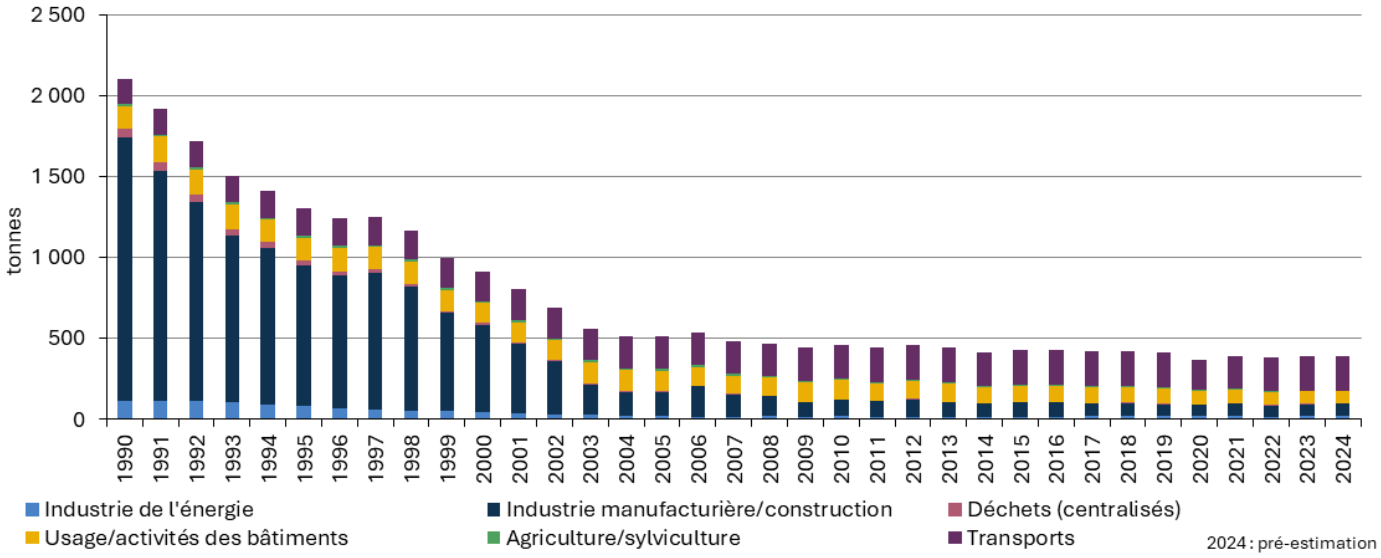
Dans le secteur résidentiel/tertiaire, les émissions, qui proviennent majoritairement du sous-secteur résidentiel, sont engendrées par la consommation de bois. Les baisses régulières observées sur la période s'expliquent par l'amélioration des performances des équipements individuels de combustion du bois.

Enfin, concernant le secteur de la transformation d'énergie, les émissions sont induites par les usines d'incinération de déchets non dangereux (UIDND) avec récupération d'énergie (42% des émissions de ce secteur en 2023) et par le chauffage urbain (44% des émissions). Dans ce secteur, la réduction importante des émissions de Zn entre 1990 et 2023 est liée à la mise en œuvre de techniques de réduction nécessaires au respect des valeurs limites définies dans les arrêtés du 25 janvier 1991 et du 20 septembre 2002 pour les UIDND.

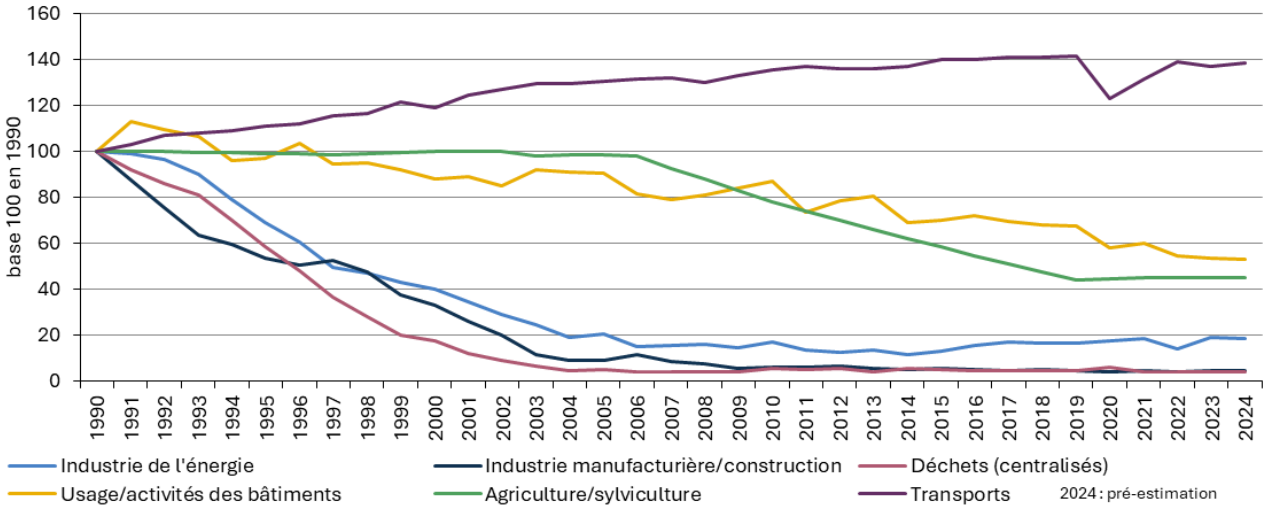
Au total, entre 1990 et 2023, les émissions de Zn ont diminué de 82%. Cette baisse est observée principalement dans le secteur de l'industrie manufacturière.



Répartition des émissions de Zn du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Zn depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Zn en base 100 en 1990 en France (Métropole)

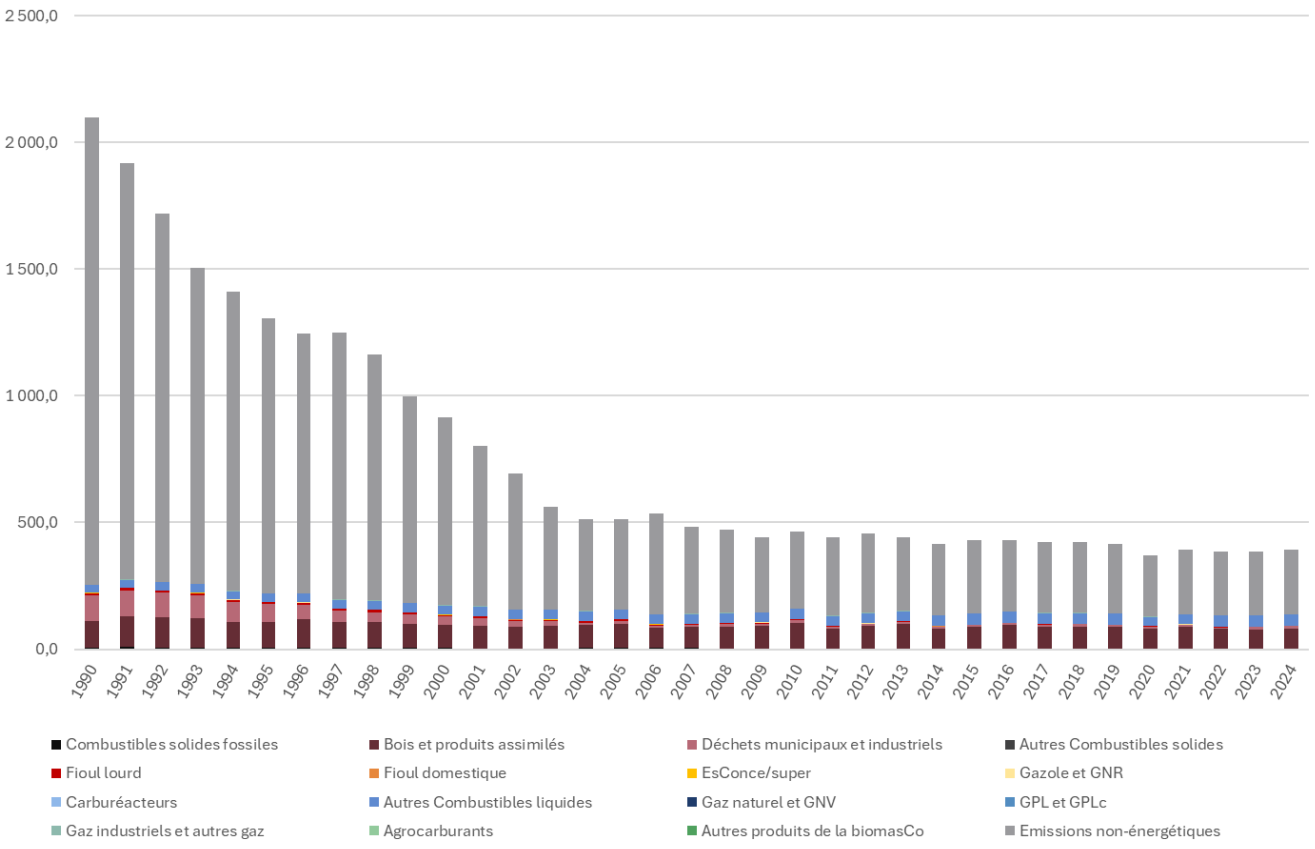
Évolution récente

Lors des dernières années, on observe une stabilisation des émissions de Zn, les variations dans les différents secteurs se compensant. Ainsi la légère hausse dans le transport routier est compensée par la baisse des émissions dans le secteur résidentiel ou par celle au sein de l'industrie.

L'impact de la crise sanitaire et des confinements est visible sur l'évolution des émissions de zinc entre 2019 et 2020 (-11%) particulièrement dans le secteur des transports suivi d'un rebond entre 2020 et 2021 de +6,6%.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions énergétiques de zinc représentent une part relative des émissions totales de ce polluant évoluant entre 12% en 1990 et 35% en 2023. Les combustibles bois, déchets municipaux et huiles et solvants usagés sont responsables de la majorité de ces émissions énergétiques (92% en 1990 contre 97% en 2023). Les émissions énergétiques ont diminué de 47% sur la période considérée.



Répartition des émissions de Zn par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de zinc en France métropolitaine sont estimées en 2022 à 5,6 g par habitant et par an contre 7,9 g dans l'Union Européenne (UE-27[45]) en moyenne (table NFR UE éd. 2025).

De plus, entre 1990 et 2022, les émissions de zinc de l'Union Européenne ont diminué de 49% (EEA-UNECE 2024). En 2022, les membres les plus émetteurs (plus de 10% du total UE-2745) étaient l'Italie, la Pologne, la France et la Roumanie (EEA-UNECE).

[45] Sauf l'Autriche et le Luxembourg qui n'ont pas rapporté les émissions de zinc sur leur territoire.

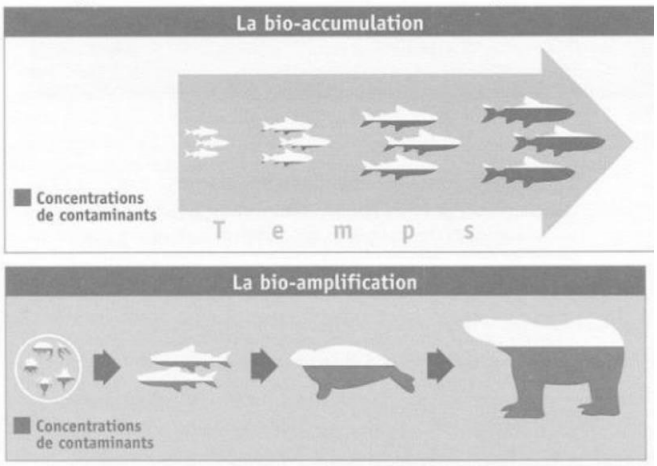
POP | Polluants organiques persistants

Éléments de contexte

Définition

Le terme Polluants Organiques Persistants ou POPs désigne un grand nombre de substances organiques non pas définies par leur nature chimique mais par quatre propriétés (Convention Stockholm 2019) :

- elles sont persistantes et restent de longues années non dégradées (elles ne se dégradent que très lentement dans l'environnement, voire pas du tout ; elles sont capables de résister à la dégradation biologique, chimique et photolytique),
- elles sont bioaccumulables (lipophiles, elles s'accumulent, se bio-amplifient dans les tissus adipeux des organismes vivants ; elles se concentrent dans la chaine alimentaire),
- elles sont toxiques (nocives pour les écosystèmes, les animaux et l'homme, elles peuvent perturber le système immunitaire et reproductif et être cancérigènes),
- elles deviennent largement distribuées dans l'environnement à la suite de processus naturels impliquant le sol, l'eau et, plus particulièrement, l'air. Elles peuvent être transportées très loin de leurs zones d'émission.



La bio-accumulation et la bio-amplification (Observatoire midi Pyrénées)

La plupart des POPs sont des composés organiques semi-volatils ou non-volatils. Ces POPs semi-volatils se trouvent à l'état gazeux ou particulaire selon les températures. Ils se déposent facilement sous forme particulaire lorsque la température est moins élevée et peuvent être réémis si la température devient plus élevée (selon un seuil de température dépendant des substances).

Sources

Ces substances peuvent être émises intentionnellement ou non (on parle alors de POPs non intentionnels ou UPOP en anglais). De manière intentionnelle, elles sont émises en tant que pesticides (aldrine, chlordane, chlordécone, lindane, mirex, pentachlorobenzène, toxaphène, etc.) ou lors de leur production pour des usages industriels (décabromodiphényl ether, hexachlorobutadiène, naphtalènes polychlorés, etc.).

De manière non-intentionnelle, les UPOPs sont émis lors de la combustion à l'air libre des déchets et de la biomasse (y compris lors de feux de forêt), lors de l'incinération de déchets, lors de la combustion de tout combustibles (fossile, biomasse) et lors de processus industriels (comme le raffinage, la production de substances chimiques, de métaux, de textiles, de céramiques ou de briques). Les émissions sont plus fortes en cas de combustion incomplète. Sept UPOPs sont inscrits à l'annexe C de la Convention de Stockholm sur les POP, un traité mondial visant à protéger la santé humaine et l'environnement contre les polluants organiques persistants entré en vigueur en 2004 :

- Hexachlorobutadiène (HCBD) qui était utilisé comme solvant pour d'autres composés contenant du chlore.
- Naphtalènes polychlorés (PCN) qui étaient utilisés comme revêtements isolants pour les fils électriques, comme conservateurs du bois, comme additifs pour le caoutchouc ou le plastique, pour les diélectriques des condensateurs et dans les lubrifiants.
- Pentachlorobenzène (PeCB) qui était utilisé dans les produits à base de PCB, dans les supports de colorants, comme fongicide, comme retardateur de flamme et comme produit chimique intermédiaire, par exemple pour la production de quintozène.
- Polychlorobiphényles (PCB) qui ont été utilisés, entre autres, comme réfrigérants et lubrifiants dans les transformateurs, les condensateurs et d'autres équipements électriques, car ils ne brûlent pas facilement et sont de bons isolants.
- Hexachlorobenzène (HCB) qui a été largement utilisé comme pesticide pour protéger les

semences d'oignons, de sorgho, de blé et d'autres céréales contre les champignons. Il a également été utilisé pour fabriquer des feux d'artifice, des munitions et du caoutchouc synthétique.

- Polychlorodibenzo-p-dioxines et dibenzofuranes (PCDD/PCDF) qui n'ont jamais été utilisés comme produits commerciaux et n'ont jamais été fabriqués intentionnellement à d'autres fins qu'en laboratoire. Ils sont libérés lors de la combustion incomplète de déchets municipaux ou de déchets médicaux dans des installations de brûlage à l'air libre.

POP pris en compte dans l'inventaire

L'inventaire national estime les émissions de quatre principaux POP émis par l'industrie, la combustion et l'incinération des déchets, et visés par le Protocole d'Aarhus et la Convention de Stockholm. Ce sont les suivants :

Les polychlorobiphényles (PCB)

Les PCB sont des composés aromatiques organochlorés avec douze atomes de carbone et entre un à dix atomes de chlore (C12H10-xClx). Il existe 209 congénères, classés en deux catégories, de type dioxine (ou dioxine like) et les autres. Ils ont été utilisés pour leurs propriétés diélectriques. Ce sont aussi des produits de combustion.

L'hexachlorobenzène (HCB)

Il s'agit d'un composé organique avec six atomes de carbone et six atomes de chlore, dérivé du benzène (C6Cl6). C'est un fongicide. Il est également émis par des processus de combustion en même temps que les dioxines et furanes.

les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les HAP sont un ensemble de composés organiques comprenant deux à sept cycles aromatiques, semi-volatils. Ils sont produits par les processus de combustion de différents combustibles et produits, ainsi que par les processus de raffinage du pétrole. Ils sont également présents à l'état naturel dans les combustibles fossiles charbon et pétrole.

La famille des HAP est très vaste. On distingue :

a) les 4 HAP couverts par le Protocole d'Aarhus :

- le benzo(a)-pyrène (B[a]P),
- le benzo(b)fluoranthène (B[b]F),
- le benzo(k)fluoranthène (B[k]F),
- l'indéno(1,2,3-cd)pyrène (I[1,2,3-cd]P),

b) Les quatre autres substances réglementées par la France, dans le cadre des règlements sur les installations classées (ICPE) :

- le benzo(g,h,i)périylène,
- le fluoranthène,
- le dibenzo(a,h)anthracène (DiB[a,h]A),
- le benzo(a)anthracène (B[a]A).

c) Les autres HAP.

Dans le cadre du total national des émissions de HAP présenté dans le rapport SECTEN, seuls les quatre HAP pris en compte dans l'inventaire, conformément au périmètre de la CEE-NU, sont présentés. Comme le montre la spéciation réalisée dans l'étude complémentaire du rapport SECTEN 2017, si l'on considère les huit HAP réglementés en France, le niveau des émissions de HAP est alors au moins 4 fois supérieur à celui des HAP pris en compte dans le Protocole d'Aarhus.

Les dioxines/furanes (PCDD-PCDF)

Les dioxines et les furanes sont des composés aromatiques polycycliques halogénés. On a identifié quelque 419 composés apparentés à la dioxine (mais on considère que seulement trente d'entre eux ont une toxicité marquée, la tétrachloro-2, 3, 7, 8 dibenzo-para-dioxine ou TCDD, étant la plus toxique) et 135 pour les furanes ou polychlorodibenzofuranes. Ces substances sont principalement formées par la combustion à haute température des déchets et des combustibles. On les retrouve également dans certains procédés chimiques (synthèse de produit chlorés) et le blanchiment de la pâte à papier. La présence de chlore et d'un catalyseur comme le cuivre ou le fer est une condition de formation.

Effets sur la santé

Les POPs ont, de façon générale, des effets toxiques sur les êtres vivants. Les diverses substances peuvent être cancérigènes et dégrader les systèmes immunitaires et reproductifs. Les références présentées dans la section *En savoir plus* donnent de bonnes synthèses sur la toxicologie des divers POPs

Suivi des POPs dans l'air ambiant

Les HAP font l'objet d'un suivi en termes de qualité de l'air selon la directive 2004/107/CE modifiée. Le B[a]P est mesuré ainsi qu'au minimum le B[a]A, B[b]F, B[j]F, B[k]F, I[1,2,3-cd]P, DiB[a,h]A.

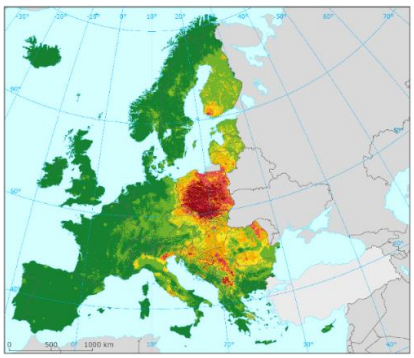
Les autres POPs tels que les dioxines, peuvent faire l'objet de surveillance locale près des sites industriels ou de campagnes de mesures ponctuelles. Les concentrations de dioxines chlorées et bromées ont ainsi été mesurées en 2018 près de sources de pollutions diffuses (brûlage de câbles) (AIRPARIF 2018).

Des mesures de concentrations de POPs sont réalisées par l'observatoire national de Mesure et d'Evaluation en zone rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance. Deux stations de fonds ruraux mesurent des POPs.

Les données sont reportées chaque année au sein de l'AirBase (the European Air quality dataBase), à l'EMEP et sont visualisables sur le site EBAS (MERA 2019).

Concentrations observées dans l'environnement en Europe et dans le monde

La figure suivante présente les concentrations de benzo(a)-pyrène mesurées en Europe.



Concentrations de benzo(a)-pyrène mesurées en 2020 en Europe (European air quality maps for 2020)

En 2020, ce sont encore plus d'une dizaine d'Etats membres qui mesurent des concentrations supérieures à la valeur limite européenne de 1 ng/m^3, principalement en Europe centrale et de l'Est (La Pologne et la République Tchèque étant les pays dans lesquelles les plus fortes concentrations sont mesurées).

Le tableau suivant présente pour différentes zones géographiques, la distribution de fréquence de la population pour un nombre limité de classes d'exposition aux concentrations de BaP. La dernière colonne renseigne également la concentration moyenne de chaque zone pondérée par la population.

Area	Population [inhbs·1000]	BaP – annual average, exposed population, 2020 [%]						BaP ann. avg.
		< 0.12	0.12-0.4	0.4-0.6	0.6-1.0	1.0-1.5	> 1.5	Pop. weighted
Northern Europe	32 080	8.4	51.1	18.5	15.1	5.6	1.3	0.44
Western Europe	144 566	57.0	42.6	0.4	0.1	0.0		0.13
Central Europe	162 777	8.7	45.5	8.8	8.8	6.4	21.7	0.92
Southern Europe	140 620	33.5	45.3	11.5	6.2	2.9	0.5	0.27
South-Eastern Europe	49 965	0.5	11.7	20.2	25.3	14.3	27.9	1.32
Total	**530 007**	**27.7**	**41.8**	**8.9**	**7.7**	**4.4**	**9.5**	**0.54**
EU-27	**435 073**							

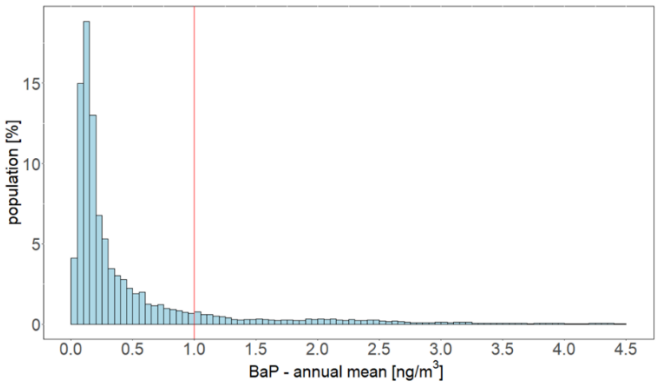
Note: The percentage value "0.0" indicates that an exposed population exists, but it is small and estimated to be less than 0.05 %. Empty cells mean no population in exposure.

Exposition de la population et concentration pondérée en fonction de la population, benzo(a)pyrène moyenne annuelle, 2020, sur la base d'une carte expérimentale (European air quality maps for 2020)

Sur la base de la carte expérimentale, on estime que 14% de la population vivant dans la zone européenne cartographiée a été exposée à des concentrations supérieures à la valeur cible de l'UE de 1,0 ng/m3. En outre, on estime que plus de 70% de la population vivant dans la zone européenne cartographiée a été exposée à des concentrations supérieures à la limite règlementaire de l'OMS de 0,12 ng/m3 en 2020. La concentration moyenne annuelle de BaP pondérée en fonction de la population pour 2020 dans les pays européens considérés est estimée à environ 0,5 ng/m3 (European air quality maps for 2020).

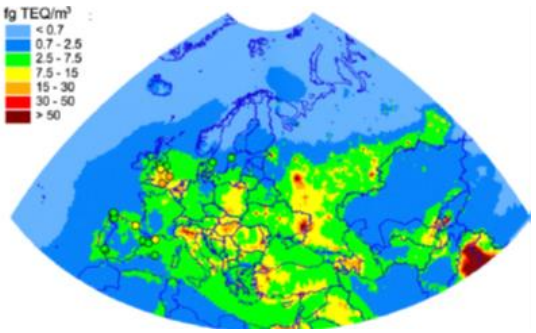
Enfin, la figure ci-dessous montre, pour l'ensemble de la zone cartographiée, la distribution de la fréquence de la population pour des classes d'exposition de 0,05 ng/m3.

La fréquence de population la plus élevée est observée pour les classes situées entre 0,05 et 0,30 ng/m3. Une baisse assez continue de la fréquence de la population est visible pour les classes au-delà de 0,30 ng/m3. La valeur cible de l'UE (1,0 ng/m3) est indiquée par la ligne rouge.

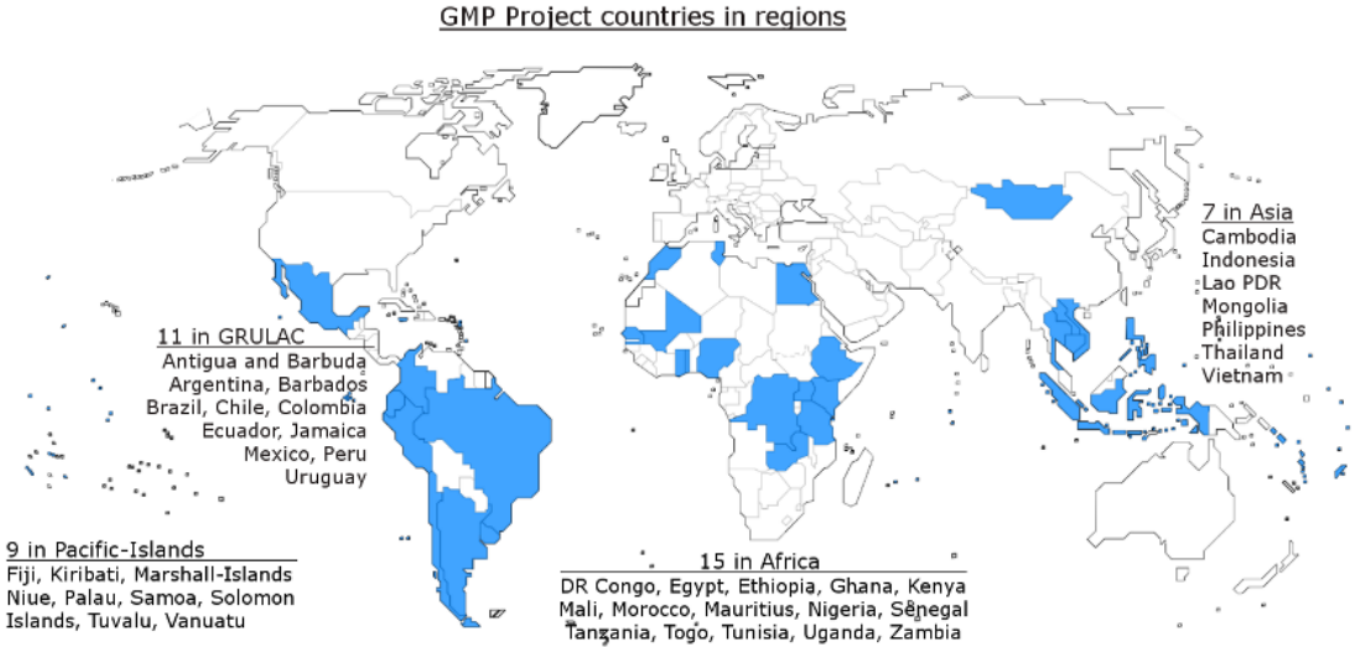


Distribution de fréquence de la population, moyenne annuelle du benzo(a)pyrène, 2020 (European air quality maps for 2020)

Des travaux d'évaluation de la pollution transfrontière relative aux POPs à l'échelle globale, régionale et nationale, sont menés par les centres de recherche EMEP (tels que le MSC-East et West (*Meteorological synthesizing centres*) (EMEP 2018). Les données d'inventaires des émissions de POPs sont une source importante d'informations pour ces travaux mais encore associées à des incertitudes importantes. La modélisation est aussi largement utilisée avec des travaux pour réconcilier données observées (trop rares) et inventaires. La figure suivante présente par exemple, les concentrations de dioxines et furanes issues de cette modélisation à partir de données d'inventaires adaptées (comblant les lacunes ou les sous estimations selon les centres de recherche). Des concentrations élevées de dioxines (toutefois exprimées en femto gramme (fg), soit en billiardième de gramme) sont estimées en Italie du nord, au Royaume uni, en Europe centrale, Ukraine, Russie.



Distribution spatiale des concentrations de dioxines et furanes modélisées à partir de données de concentrations et d'inventaires d'émissions ajustés dans la zone EMEP en 2016 (EMEP 2018) en 2016 dans la zone EMEP (AEE 2018)



Plan mondial de surveillance (Global Monitoring Plan) du PNUE/FEM sur les POP

A l'échelle internationale, les projets du plan mondial de surveillance (Global Monitoring Plan) du PNUE/FEM surveillent la présence de polluants organiques persistants (POP) dans l'environnement et chez l'homme. Jusqu'à présent, l'enquête OMS/PNUE sur le lait maternel a généré des données pour 82 pays au

cours des vingt dernières années. L'actuelle et deuxième phase du projet (GMP2), qui a débuté en 2016, prévoit la mise en œuvre de quatre projets régionaux dans 42 pays d'Afrique, d'Asie, des îles du Pacifique et d'Amérique latine et des Caraïbes. L'analyse porte sur les 12 POPs initiaux et les 14 nouveaux POPs adoptés entre 2009 et 2015. Certains POPs répertoriés plus récemment, tels que les PFHxS et les PC, sont également analysés. Les concentrations de POP sont mesurées dans le monde entier dans l'air, le lait humain et l'eau, ainsi que d'autres matières (poisson, beurre, sédiments, etc.). Le tableau de bord interactif hébergé permet d'explorer les différentes composantes des projets ainsi que les données générées.

En outre, pour soutenir le renforcement des capacités régionales de surveillance durable des POPs, plusieurs activités de renforcement des capacités ont été menées, notamment 44 formations dans les laboratoires nationaux entre 2008 et 2021, et quatre cycles d'évaluation inter laboratoires auxquels ont participé 284 laboratoires de toutes les régions des Nations unies.

Concentrations observées dans l'environnement en France

A la suite de l'étude menée par l'ONG *Toxicowatch* ayant mis en évidence la contamination des œufs de poulaillers domestiques par trois familles de polluants organiques persistants (POP) : les dioxines (PCDD), les furanes (PCDF) et les polychlorobiphényles (PCB), l'ARS avait émis une recommandation de non-consommation des œufs pour les communes concernées par cette première étude : Paris XII et Paris XIII, Ivry, Alfortville et Charenton.

L'étude réalisée par l'Agence porte sur 25 sites volontaires, dont 14 situés à proximité des trois principaux incinérateurs de déchets autour de Paris (Ivry-sur-Seine, Issy-Les-Moulineaux, Saint-Ouen) et 11 qui en sont éloignés.

Cette étude ne concernait pas les productions d'œufs intégrés à une filière commerciale, qui font l'objet de contrôles prévus réglementairement.

Les résultats de l'étude menée par l'Agence mettaient en évidence une contamination de l'ensemble des prélèvements par les trois familles de polluants organiques persistants analysées (dioxines, furanes et PCB), signifiant que ces trois familles de polluants organiques persistants (POP) sont présentes dans tout l'environnement urbain, et non pas spécifiquement aux abords des incinérateurs. (ARS Île de France)

Réduction des émissions

Compte tenu de leurs effets sur la santé et les écosystèmes, les POPs font l'objet de nombreuses réglementations à l'échelle européenne et française.

Au niveau international, il existe deux Conventions (voir aussi le chapitre Politique et Règlementation) visant à contrôler, réduire ou éliminer ces substances :

- Le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP »), adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU ou UNECE en anglais). Il est entré en vigueur le 23 octobre 2003 et a été amendé en 2009. Le Protocole interdit la production et l'utilisation de certains POP (aldrine, chlordane, chlordécone, dieldrine, endrine, hexabromobiphényle, mirex et toxaphène). D'autres substances ont été introduites en 2009 (hexa-chlorobutadiene, octabromodiphenyl ether, pentachloro-benzene, pentabromodiphenyl ether, perfluorooctane sulfonates, polychlorinated naphthalenes et les paraffines chlorées à courte chaîne). D'autres doivent être éliminés ou substantiellement réduits (dichloro-diphényltrichloroéthane (DDT), heptachlore, biphényles polychlorés (PCB), hexachlorobenzène (HCB)). Il oblige également les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990. Pour l'incinération de déchets municipaux, dangereux et médicaux, il établit des valeurs limites spécifiques.
- la Convention de Stockholm (ou « Convention POP ») a été adoptée le 22 mai 2001 dans le cadre du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) par 92 pays. Elle est entrée en vigueur le 17 mai 2004. En mai 2009 (lors de la COP-4), des amendements à la Convention ont ajouté 9 nouveaux POP et ces amendements sont entrés en vigueur le 26 août 2010. D'autres amendements sont intervenus depuis. La Convention de Stockholm prend en compte un nombre de POP beaucoup plus élevé que le Protocole d'Aarhus.

L'article 6 de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) demande aux

parties de prendre les mesures appropriées pour que les déchets constitués de polluants organiques persistants, en contenant ou contaminés par eux soient éliminés de manière que le contenu en POP soit détruit ou irréversiblement transformé de sorte qu'ils ne présentent pas les caractéristiques des POPs, ou qu'ils soient éliminés d'une autre manière écologiquement rationnelle.

Un traitement inadéquat peut entraîner le rejet de POP ou la formation de POP non intentionnels et leur rejet ultérieur dans l'environnement. Dans le cadre de la Convention de Bâle, des lignes directrices techniques pour la gestion écologiquement rationnelle (GER) des déchets de POP ont été rédigés. Ces lignes directrices comprennent des méthodes de destruction et de transformation irréversible des POPs telles que la réduction par un métal alcalin, la décomposition catalysée par une base, l'hydrodéchloration catalytique, la co-incinération dans les fours à ciment, etc.

Les pesticides

Les émissions de pesticides dans l'air peuvent notamment avoir lieu pendant l'application par dérive aérienne de gouttelettes de pulvérisation ou en post-application par volatilisation depuis le sol ou la plante. Il existe encore peu de connaissances sur les résidus de pesticides dans l'air à l'échelle de la France entière même si les Associations Agrées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) ont réalisé des campagnes de mesures. La base PhytAtmo pilotée par Atmo France a été ouverte au public le 18 décembre 2019 et compile les concentrations mesurées en pesticides dans l'air extérieur sur la période 2002-2021 avec 339 substances actives recherchées et 8 512 prélèvements effectués sur 237 sites. L'association Générations Futures a analysé les données contenues dans la base PhytAtmo, et le 18 février 2020, a publié un rapport contenant les conclusions suivantes : « parmi les herbicides, fongicides et autres insecticides présents dans l'atmosphère, une majorité de ces substances particulièrement dangereuses pour la santé sont suspectés d'être des perturbateurs endocriniens (PE) ou cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) ».

Les émissions dans l'air de pesticides, ou produits phytopharmaceutiques, ne sont pas encore inventoriées dans l'inventaire national des émissions. Comme il ne s'agit pas d'une obligation règlementaire, la priorité est donnée à l'amélioration de l'estimation des émissions des autres substances, mais il y a une attente importante sur le sujet notamment du côté des préoccupations de santé.

Néanmoins, des travaux préliminaires ont été menés notamment par l'ADEME. Ainsi que la synthèse de C. Guiral et al. de 2016, conclut que « si des facteurs d'émission ont pu être identifiés, ils présentent un niveau de validation faible et donc un potentiel d'utilisation en France avec les substances actives actuelles que l'on peut qualifier de faible. [...] Quelques jeux de données sont disponibles mais en nombre limité. Il faudrait en produire d'autres pour mieux appréhender les processus, améliorer les modèles (et leur domaine d'application) et dégager des leviers d'action pour limiter les émissions de produits phytosanitaires vers l'atmosphère. »

Du point de vue de leurs concentrations dans l'air, la surveillance des résidus de pesticides dans l'air au niveau national est une priorité définie dans le cadre du plan d'action gouvernemental sur les produits phytopharmaceutiques et du plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA 2017). Saisie par les ministères en charge de l'agriculture, de l'écologie, de la santé et du travail, l'Anses a établi en octobre 2017 des recommandations sur la conduite et les modalités de mise en œuvre d'une Campagne Nationale Exploratoire des Pesticides (CNEP) en vue d'une telle surveillance (ANSES 2017). Au vu de ces recommandations, un partenariat a été mis en place entre l'Anses, l'Ineris et la Fédération Atmo France pour la définition et la réalisation de cette campagne. Cette campagne exploratoire, première du genre à l'échelle nationale, avait pour objectif de définir les modalités d'une stratégie pérenne nationale de surveillance des résidus de pesticides dans l'air ambiant (INERIS 2018). Les résultats de la campagne exploratoire nationale de mesure des résidus de pesticides dans l'air (analyse d'environ 75 substances prioritaires, sur 50 sites de mesure, en France métropolitaine et dans les territoires ultramarins) ont été publiés à l'automne 2020 (ANSES 2020).

Sur la base des résultats de la CNEP, un premier travail d'interprétation sanitaire sur les substances retrouvées dans l'air extérieur a été effectué. Cette analyse a permis de cibler les substances nécessitant un examen approfondi en vue de leur éventuelle intégration dans la surveillance nationale des pesticides dans l'air. Une première approche a fourni des indices du risque sanitaire en croisant les résultats de mesures dans l'air avec les données de toxicologie disponibles. Le rapport conclu que le faible niveau de ces indices ne met pas en évidence, au vu des connaissances actuelles, une problématique sanitaire forte associée à l'exposition de la population générale via l'air extérieur, hors source d'émission de proximité. Une seconde approche a conduit à une priorisation de 32 substances d'intérêt. Parmi ces 32 substances, le lindane, considéré comme une des substances les plus dangereuses (avec des effets cancérogènes, et/ou reprotoxique et/ou perturbateur endocrinien avérés), est quantifié dans près de 80% des échantillons analysés, alors même que cette substance est interdite en France depuis de nombreuses années.

D'autres travaux en cours permettent de faire évoluer l'état des connaissances sur les résidus de pesticides dans l'air :

- le projet RePP'air lancé en janvier 2017 porté par la Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, qui réunit 31 acteurs, dont sept AASQA vise à améliorer la compréhension des phénomènes impliqués dans les transferts de produits phytosanitaires dans l'air. Ce projet se déploie sur huit sites d'études (polyculture élevage, viticulture, grandes cultures…), répartis dans sept régions de France. Des campagnes de mesures avec des protocoles uniformes (fréquence de prélèvement à la semaine) entre AASQA sont réalisées. Un des objectifs poursuivis est de mettre en relation les mesures de produits phytosanitaires avec les pratiques des agriculteurs (enquêtes auprès des agriculteurs autour des sites de mesure). La restitution des résultats pour le Pays de la Loire a eu lieu en décembre 2020 et est disponible au format Webinaire (Projet REPP'AIR).

- Deux programmes de recherche « PRIMEQUAL 2016 » en cours s'intéressent au devenir des produits phytosanitaires dans l'atmosphère : TRANSPOPEST (étude du transfert de pesticides des zones de cultures vers les zones habitées pour évaluer l'exposition des populations riveraines à ces substances) et COPP'R (Modélisation de la COntamination de l'air par les Produits Phytopharmaceutiques à l'échelle Régionale).

Enfin, lors de la rencontre co-organisée par l'APCA (Chambres d'agriculture France) et l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) lors du Salon International de l'Agriculture le 26 février 2020, les acteurs du développement agricole et de la recherche ont soulevé quelques pistes de recherche : approfondir les recherches sur la dérive aérienne, sur l'effet de la formulation sur les matières actives, et continuer à étudier le devenir des composés dans l'atmosphère.

► En savoir plus

Le portail substances chimiques de l'Ineris fournit des grandeurs caractéristiques sur les substances chimiques dans les domaines suivants : Ecotoxicologie, Toxicologie, Données Technico-économiques. Par exemple pour le BaP : https://substances.ineris.fr/fr/substance/484

L'Ineris met aussi à disposition un certain nombre de fiches, dans lesquelles il est possible de trouver les substances considérées ci-dessus : https://substances.ineris.fr/fr/page/21#fictox.

L'INRS est également une excellente source de données, par exemple sur les substances CMR. : http://www.inrs.fr/risques/cmr-agents-chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html

PCDD-F | Dioxines et furanes

Type
Polluant organique persistant

Définition
Les polychlorobenzodioxines (PCDD) et les polycholorodibenzofuranes (PCDF), regroupés sous le terme dioxines et furanes sont une famille de polluants organiques persistants dans l'environnement. Elles peuvent avoir une origine naturelle mais sont essentiellement d'origine humaine et associées à des procédés industriels et de la combustion.

Très stables chimiquement, l'ingestion est la principale voie de contamination des êtres vivants chez lesquels, elles s'accumulent. Elles contaminent la chaîne alimentaire. Elles sont toxiques pour l'homme (notamment la 2,3,7,8 TCDD ou « dioxine Seveso »).

Composition chimique
Deux noyaux benzéniques reliés par deux atomes d'oxygène, des atomes de chlore, de fluor et de brome (de 1 à 8) composent les dioxines et furanes.

Origine
Sources anthropiques : incinération de déchets ; brûlage de câbles ; combustion de combustibles minéraux solides, de carburants et de biomasse ; métallurgie des métaux ferreux (production d'agglomérés et cokeries) et autres procédés industriels (production de papier, etc.).

Sources naturelles : feux de forêt ; activité volcanique.

Phénomènes associés
Contamination de l'air, l'eau, des sols, sédiments et de la chaîne alimentaire

Effets

Santé

Cancérigènes, perturbateurs endocriniens

Enjeux

Effets sanitaires

On appelle dioxines des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC). Les propriétés de ces dioxines, dont leur toxicité, dépendent du nombre et de la position des atomes de chlore. L'une des dioxines les plus toxiques est connue sous le nom de TCDD (tétrachlorodibenzo-para-dioxine) ou encore dioxine de Seveso (en référence à la catastrophe industrielle du même nom) et sert de norme étalon pour l'établissement de la toxicité des autres dioxines et furanes.

Les furanes ou polychlorodibenzo-furanes ou PCDF sont une famille de molécules chimiques cycliques (hétérocycle aromatique) et sont émis lors de l'incinération de PCB (T>1 200°C). Ils se différencient des dioxines par la présence d'un seul atome d'oxygène dans le cycle central entouré de deux cycles benzéniques. Dans ces molécules, deux à neuf atomes d'hydrogène sont substitués par des atomes de chlore (dans les positions numérotées de 1 à 9).

Dans l'environnement, la photolyse est l'une des rares voies de dégradation de ces molécules. La photodéchloration serait la réaction la plus importante. Néanmoins, un rapport de l'Inserm (« *Dioxines dans l'environnement. Quels risques pour la santé* ?», Rapport. Paris : Les éditions Inserm, 2000, XIII - 406 p.) précise que plusieurs études menées sur la biodégradabilité de ces polluants environnementaux montrent que certains micro-organismes (bactéries, levures, champignons) sont capables de les métaboliser.

Une fois émis, les dioxines et furanes sont transportés dans l'atmosphère et vont se déposer sur l'eau ou sur terre tout au long de leur parcours. Dans l'eau, les dioxines se lient d'abord à de petites particules ou au plancton. Sur terre, elles se déposent sur les plantes ou se lient au sol. Depuis les premiers éléments de la chaîne trophique jusqu'aux derniers maillons, elles vont s'accumuler dans les organismes, les concentrations augmentant à chaque maillon de la chaine (par bioaccumulation, phénomène propre aux POP). Ce sont des composés lipophiles qui ont tendance à s'accumuler dans les graisses et dans le foie. On estime que leur demi-vie, soit le temps nécessaire pour que leur activité dans l'organisme diminue de moitié, se situe entre 7 et 11 ans.

Une exposition brève de l'être humain à de fortes concentrations de ces substances peut entraîner des lésions dermiques, la formation de taches sombres sur

la peau et une altération de la fonction hépatique. L'exposition de longue durée s'associe à une dégradation du système immunitaire, du développement du système nerveux, du système endocrinien et des fonctions génésiques. Chez l'animal, l'exposition chronique aux PCDD-F peut entrainer plusieurs types de cancers. Le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC), agence de l'OMS, a évalué la TCDD en 1997 et 2012. Sur la base des données épidémiologiques chez l'être humain et des informations sur l'animal, le CIRC a classé les dioxines et les furanes dans les « cancérogènes pour l'être humain ».

Certaines populations locales ont été accidentellement exposées à de fortes concentrations de dioxines, notamment à Seveso en 1976 (Italie) après l'explosion survenue dans une usine chimique, entrainant la formation d'un nuage toxique, comportant de la TCDD, et contaminant une zone de quinze kilomètres carrés avec une population de 37 000 habitants. Dans de nombreux cas, la contamination à la dioxine passe par l'alimentation des animaux. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), on estime que chez l'homme, plus de 90% de l'apport en dioxines proviendraient de la nourriture, en particulier par l'ingestion de protéines animales (lait et produits laitiers, viandes, poissons). En 1999, on a trouvé des concentrations élevées en dioxines dans des volailles et des œufs en Belgique. Par la suite, des produits alimentaires à base d'animaux contaminés par des dioxines (volailles, œufs, porcs) ont été détectés dans plusieurs pays dont l'origine a pu être retracée à des aliments pour animaux contaminés par de l'huile industrielle usagée contenant des PCB et éliminée illégalement. Fin 2008, l'Irlande a rappelé plusieurs tonnes de viande de porc et de produits dérivés, lorsqu'ont été détectés des quantités de dioxines jusqu'à 200 fois plus élevées que la limite de sécurité dans des échantillons. Cette découverte a entraîné l'un des plus gros rappels d'aliments en relation avec une contamination chimique. L'origine de cette contamination a été liée à l'alimentation contaminée des animaux. Quelques cas d'intoxication humaine délibérée ont également été signalés. Le plus notable est, en 2004, celui de l'empoisonnement de Viktor Louchtchenko, président de l'Ukraine de 2005 à 2010.

L'OMS a établi une Dose Journalière Tolérable (DJT) d'exposition aux dioxines de 1 à 4 pg I-TEQ par kg de poids corporel et par jour. Le plafond de 4 pg est provisoire, l'objectif final étant de réduire la dose de dioxines chez l'homme à moins de 1 pg I-TEQ par kg de poids corporel et par jour. Cette valeur a été déterminée en fonction des doses minimales qui ont un effet nocif sur les animaux de laboratoire, divisées par un facteur 10 de sécurité. Cette DJT doit être considérée comme une moyenne sur toute une vie, ce qui signifie que la valeur limite peut être dépassée occasionnellement durant de courtes périodes, sans conséquences attendues pour la santé.

Objectifs de réduction

Le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP »), adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU ou UNECE en anglais). Il est entré en vigueur le 23 octobre 2003 et a été amendé en 2009. Il oblige également les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990.

En France, pour les rejets de dioxines et furanes, il se traduit par une obligation à émettre moins de 1 801 g- ITEQ par an.

Enjeux actuels

Il n'existe pas en France de valeur réglementaire concernant les concentrations de dioxines dans l'air ambiant et dans les retombées atmosphériques. Toutefois il est possible à l'issue de campagnes de mesures d'établir des profils standards de concentration atmosphériques. Ainsi au travers de son « Programme de surveillance des Dioxines, Furanes & Métaux lourds » Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (AASQA - Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air) met en avant une variabilité saisonnière des concentrations de dioxines. Les niveaux en air ambiant étant plus élevés en automne et en hiver. On impute ce fait à deux phénomènes : la mise en service du chauffage au bois fortement émetteur en dioxines (notamment en raison des installations peu performantes) et le développement de conditions météorologiques stables et peu dispersives dans cette période de

l'année qui favorise l'accumulation des polluants dans les basses couches.

En outre, on constate depuis plusieurs années à travers diverses campagnes de mesures, une mutation des émetteurs de dioxines. Historiquement les activités d'incinérations des déchets ménagers en étaient les principales sources. Aujourd'hui, leurs sources sont aujourd'hui beaucoup plus diversifiées. Depuis les années 2000, la mise aux normes progressive des unités d'incinération et de valorisation énergétique des ordures ménagères a conduit à une réduction notable des rejets de dioxines de ces installations et à une nouvelle distribution des contributions aux émissions de dioxines entre les différents secteurs d'activités. A présent, comme pour d'autres polluants, il existe un niveau de fond régional qui évolue au cours des saisons. Localement, d'autres phénomènes, comme les incendies ou le brûlage de câbles peuvent aussi influer fortement sur les niveaux observés.

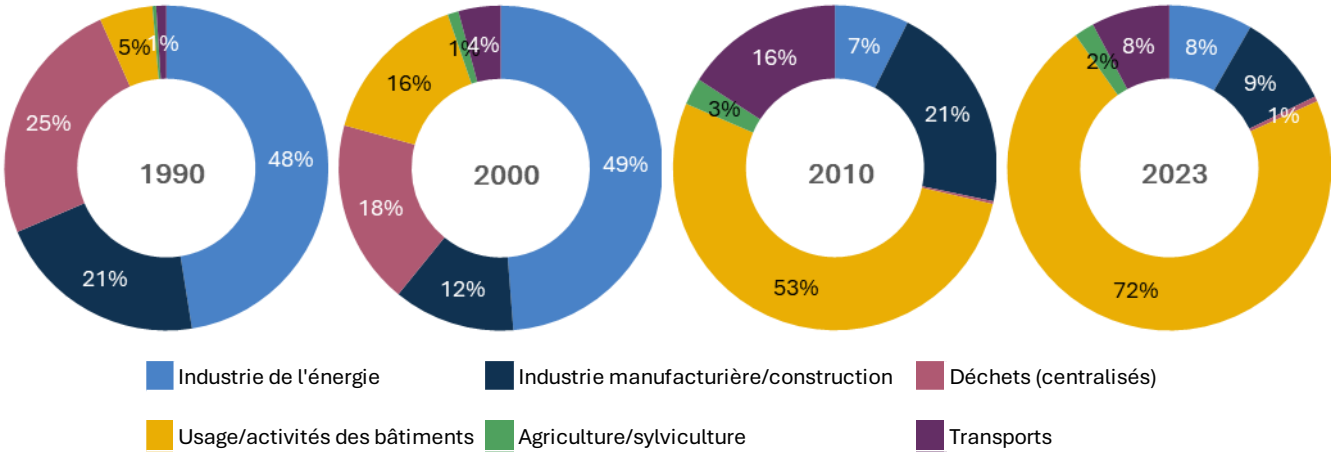
Enjeux méthodologiques et incertitude

Ces émissions sont très sensibles aux conditions de fonctionnement, en conséquence, les facteurs d'émission utilisés restent accompagnés d'une forte incertitude. Lorsque des mesures sont disponibles, celles-ci sont privilégiées. Les facteurs d'émission de dioxines et furanes proviennent d'un outil du PNUE sauf pour le bois et les déchets agricoles pour lesquels une étude du Citepa est utilisée.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 35,2%.

► Pour une présentation très détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, téléchargez la dernière édition de notre rapport méthodologique « Ominea ».

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de PCDD-F en France

Tendance générale

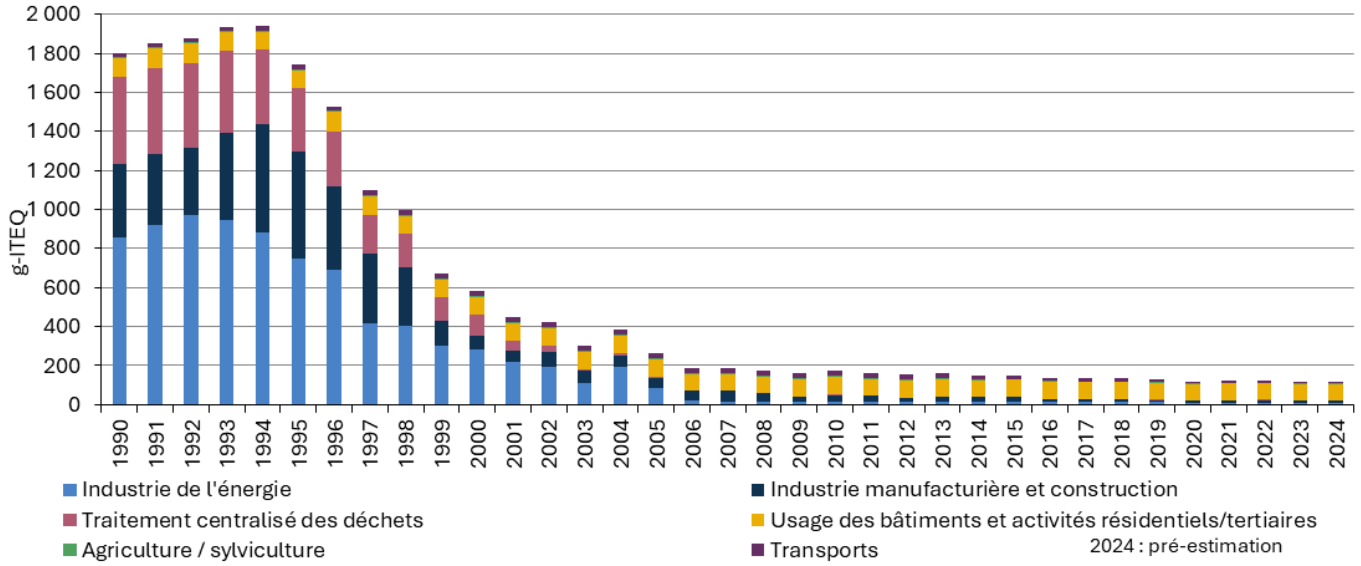
Les émissions de dioxines et furanes (PCDD-F) sont exprimées en I-TEQ (équivalent toxique international).

Les phénomènes complexes conduisant à la formation de dioxines et furanes se produisent dans des conditions particulières de combustion pouvant être rencontrées dans tous les secteurs, mais plus particulièrement au cours de l'incinération des déchets, lors de la production d'agglomérés pour les hauts-fourneaux ainsi que lors de quelques autres procédés particuliers.

Ainsi, tous les secteurs contribuent aux émissions de dioxines/furanes, mais dans des proportions variables. Du fait d'une très forte baisse des émissions entre 1990 et 2023 dans certains secteurs, la répartition par secteur est très différente en 1990 de celle observée en 2023.

Le secteur du résidentiel/tertiaire est la principale source des émissions de PCDD-F depuis 2005 (72% en 2023) mais une très forte part des émissions (55,8 g I-TEQ) est induite par le brûlage des câbles pour récupérer le cuivre. Or, il s'agit d'une activité illicite, donc difficile à quantifier (et donc associée à une forte incertitude) et pour laquelle l'activité est considérée constante sur l'ensemble de la période.

Le secteur de la transformation d'énergie, était la plus forte source en 1990 du fait de l'incinération des déchets avec récupération d'énergie. La très forte baisse observée entre 1990 et 2023 est d'ailleurs le résultat de la très forte baisse des émissions de ces incinérateurs du fait de la mise en place des techniques de réduction pour répondre à la réglementation. La forte augmentation observée en 2004 est liée au dysfonctionnement d'un incinérateur de déchets non dangereux qui a émis à lui seul 50 g I-TEQ.



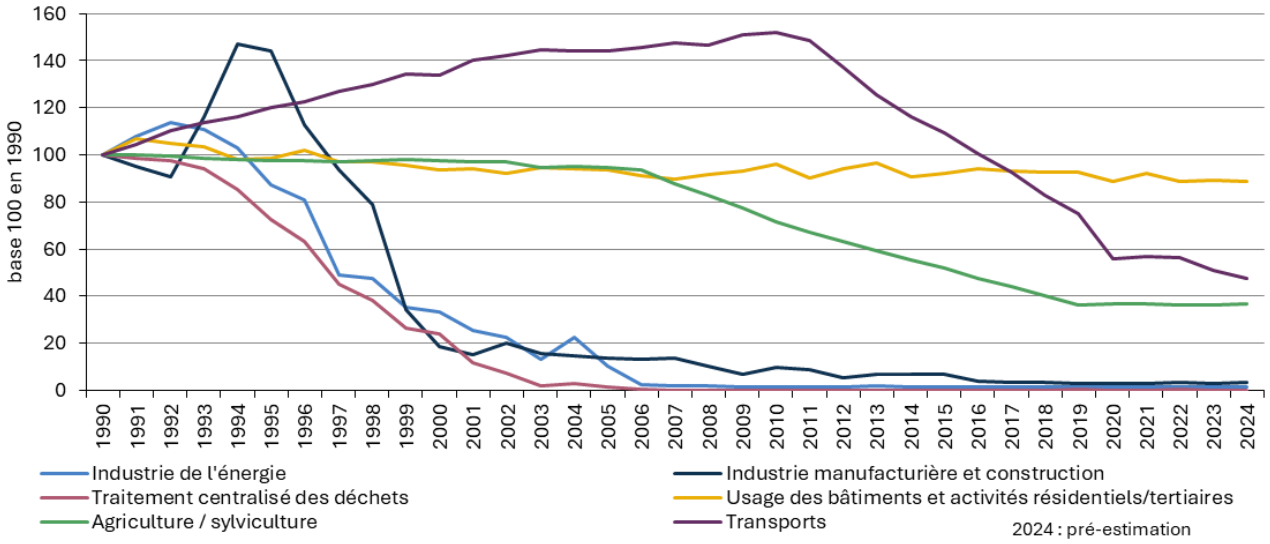
Evolution des émissions dans l'air de PCDD-F par secteur depuis 1990 en France (Métropole)

Le secteur des déchets contribuait également de façon importante en 1990. La très forte décroissance observée entre 1990 et 2023 fait suite aux progrès réalisés par les incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie (mise en conformité progressive) mais également à la part croissante de l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie (et donc rapporté dans le secteur énergie).

Dans ces incinérateurs de déchets non dangereux, avec ou sans récupération d'énergie, des techniques de réduction ont ainsi été mises en œuvre pour respecter les valeurs limites définies dans les arrêtés du 25 janvier 1991 et du 20 septembre 2002 relatifs aux déchets non dangereux (ordures ménagères, boues de traitement des eaux, etc.). Elles ont permis, notamment, une réduction de plus de 99% des émissions de cet ensemble de sources, entre 1990 et 2023. Concernant les déchets dangereux, l'arrêté du 20 septembre 2002 qui leur est dédié a permis une réduction de plus de 90% des émissions liées à l'incinération des déchets industriels dangereux entre 1990 et 2023.

Dans l'industrie manufacturière, la baisse observée est liée à la baisse d'activité du secteur de la métallurgie des métaux ferreux et de la mise en place de techniques d'abattement.

La baisse des émissions entre 2008 et 2009 s'explique par les progrès accomplis par les aciéries électriques et par la baisse considérable de l'activité sur les sites de production d'agglomérés liée à la crise. La hausse des émissions en 2010 et 2011 s'explique par la reprise de l'activité sur ces sites.



Evolution des émissions dans l'air de PCDD-F en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

La tendance à la baisse observée depuis 2010 est essentiellement due au secteur de l'industrie manufacturière et au secteur des transports.

Concernant l'industrie manufacturière, la métallurgie des métaux ferreux imprime sa tendance à l'ensemble du secteur car il s'agit du sous-secteur le plus contributeur. En 2012, le niveau d'émission est le plus bas observé depuis 1990, suite en partie à la fermeture fin 2011 du site sidérurgique de Florange. La baisse importante observée entre 2015 et 2016 est liée à une forte réduction des émissions dans plusieurs sites d'agglomération de minerais.

Les émissions des autres secteurs restent très stables sur les année récentes. Le secteur résidentiel/tertiaire est le secteur majoritaire depuis 2006 et ses émissions, principale source des émissions de PCDD-F depuis 2006, ne voit pas ses émissions réduire du fait de la part importante liée au brûlage de câbles.

Atteinte des objectifs

Le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP »), adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU ou UNECE en anglais). Il est entré en vigueur le 23 octobre 2003 et a été amendé en 2009. Il oblige également les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990.

En France, pour les rejets de dioxines et furanes, le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP ») se traduit par une obligation à émettre moins de 1 801 g-ITEQ par an. Ce plafond est respecté avec des émissions en dessous du seuil de 1000 g-ITEQ depuis les années 2000 et en dessous du seuil de 200 g-ITEQ depuis les années 2010.

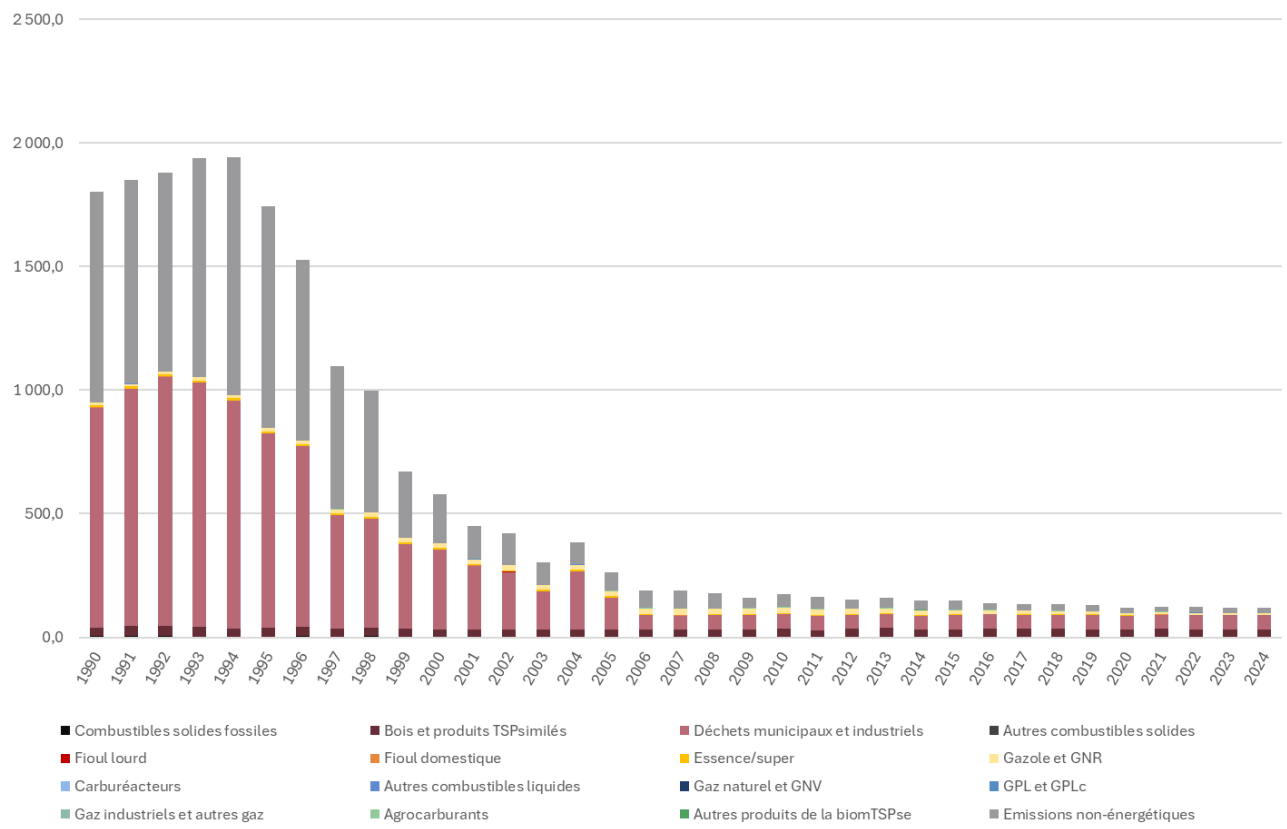
En 2023, les émissions totales françaises de PCCD-F étaient de 119 g-ITEQ, soit une baisse de 93% par rapport aux rejets de l'année 1990.

Part des émissions liées aux combustibles

Les rejets de dioxines et furanes (PCDD-F) sont principalement issus de procédés non énergétiques et de la combustion de déchets municipaux et industriels. Ainsi, en 1990 leurs émissions cumulées représentées 97% des émissions du territoire national. A partir de 1997, cette situation de quasi-monopole évolue et la part cumulée des procédés non énergétiques et de la combustion des déchets décroit

jusqu'à 69% en 2006. Depuis 2006 on observe une stabilisation de celle-ci, fluctuant entre 61% et 69%.

La part des émissions liées à l'utilisation du gazole et du GNR a largement évoluée sur la période 1990-2022. Entre 1990 et 2012, on enregistre une augmentation de 1% à 14% des rejets de PCDD-F associés à ces combustibles. On observe cependant une diminution régulière de celle-ci depuis 2013, ne représentant aujourd'hui que 6% des rejets nationaux.

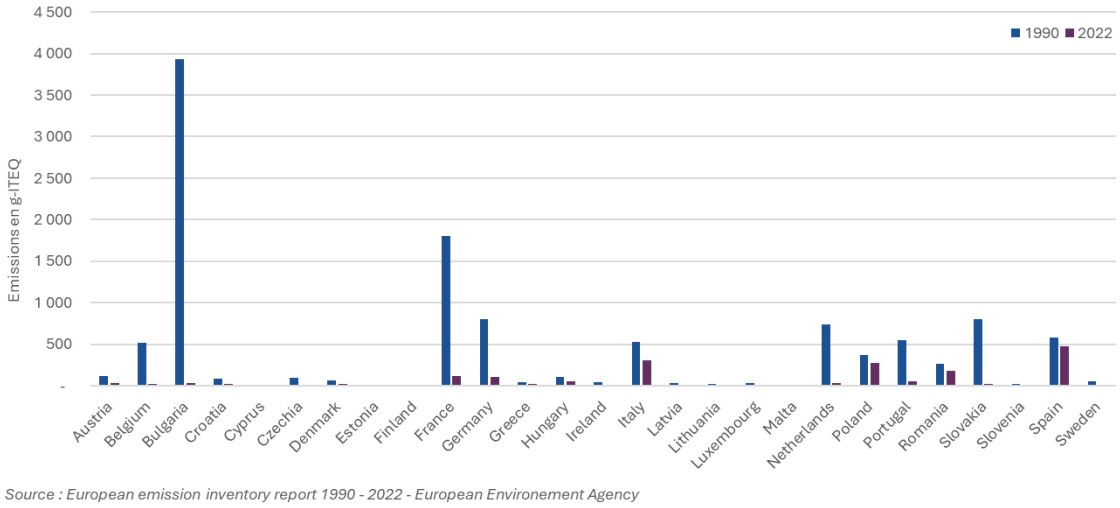


Répartition des émissions de PCDD-F par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

Au sein de l'Union Européenne, la Bulgarie était le pays le plus émetteur de dioxines et furanes en 1990 d'après les données de l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) avec 34% des rejets totaux. La France et la Slovaquie étaient les second et troisième émetteurs de l'UE et représentaient respectivement 15% et 7% des émissions en 1990. En 2022, la France était le 5ème émetteur de l'UE et totalise 6% des rejets. La Bulgarie et la France sont les pays ayant réduit le plus leurs émissions (en valeur nette) entre 1990 et 2022 (-99% et -93%).

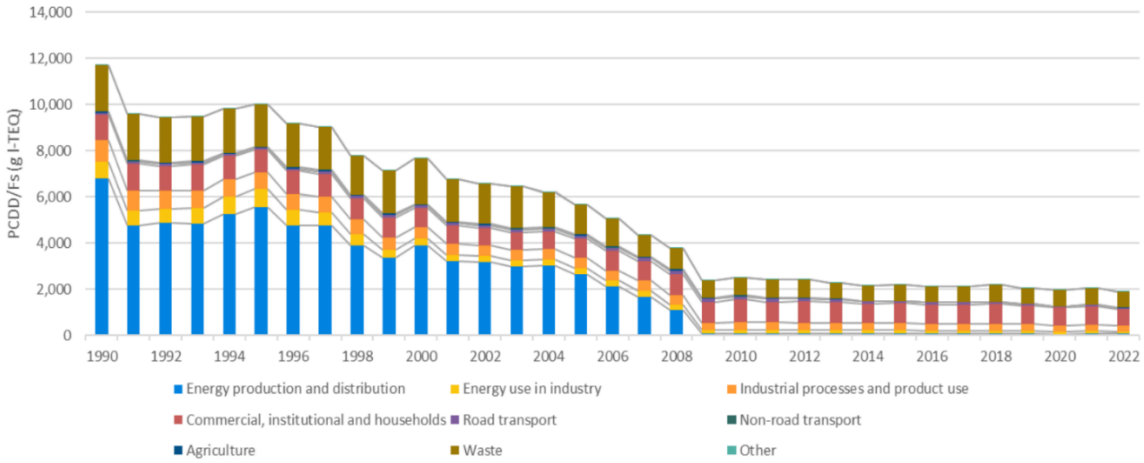
Aucun pays de l'UE n'a vu croitre ses émissions sur cette période. En 2022, les pays les plus émetteurs étaient l'Espagne avec 25% des rejets totaux (472 g-ITEQ), l'Italie qui totalisait 16% des émissions totales (304 g-ITEQ) et la Pologne dont les rejets s'élevaient à 15% (282 g-ITEQ) des émissions de l'UE.



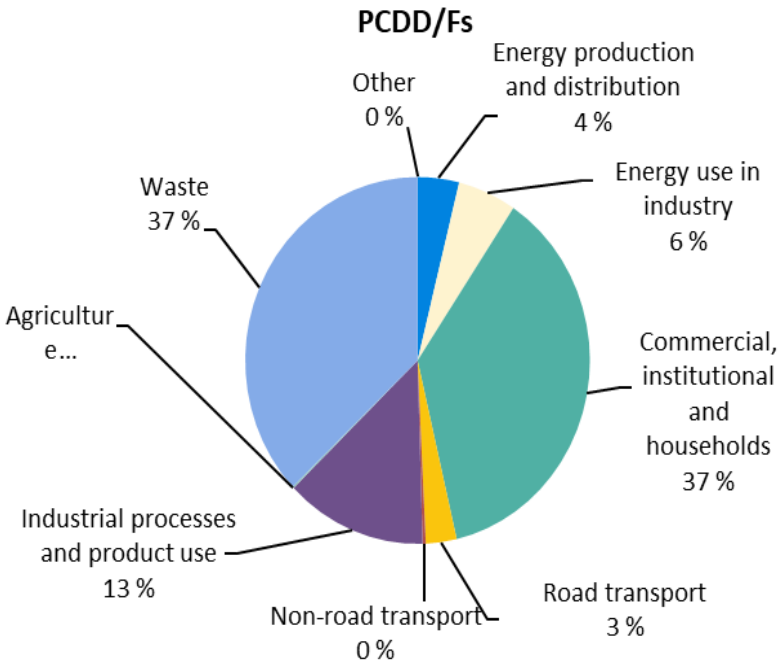
Source : European emission inventory report 1990 - 2022 - European Environement Agency

Evolution des émissions de PCDD-F des pays de l'UE-27 entre 1990 et 2022

Enfin, entre 1990 et 2022, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 84% des rejets de dioxines et furanes, passant de 11 707 g-ITEQ à 1 915 g-ITEQ. En 2022, les trois principaux secteurs émetteurs étaient les secteurs résidentiels et tertiaire (37%), des déchets (37%) et de l'industrie manufacturière (13%).



Emissions de PCDD-F de l'Union Européenne (UE 27) entre 1990 et 2022 - European emission inventory report 1990-2022 - European Environment Agency



Emissions de PCDD-F de l'Union Européenne (UE 27) en 2022 - European emission inventory report 1990-2022 - European Environment Agency

HAP | Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Type
Polluant atmosphérique organique persistant

Définition
Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des polluants organiques persistants (POP) qui présentent un danger pour l'homme par leurs caractères cancérigène et mutagène.

Parmi eux, les quatre HAP suivis dans l'inventaire, conformément au périmètre CEE-NU, et ici présentés sont : le benzo(a)pyrène, le benzo(b)-fluoranthène, le benzo(k)fluoran-thène et l'indeno(1,2,3-cd)pyrène. Par ailleurs, quatre autres substances sont réglementées par la France, dans le cadre des règlements sur les installations classées (ICPE) : le benzo(g,h,i)pérylène, le fluoranthène, le dibenzo(a,h)anthracène (DiB[a,h]A), le benzo(a)anthracène (B[a]A).

Composition chimique
Molécules constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène, comprenant au moins deux cycles aromatiques condensés.

Origine
Sources anthropiques : combustion de biomasse, de combustibles minéraux solides et de carburants ; incinération de déchets ; feux ouverts ; cultures ; métallurgie des métaux ferreux.

Source naturelle : feux de forêts et prairies ; activité volcanique.

Phénomènes associés
Certains HAP peuvent être des COVNM lorsqu'ils sont très volatils (naphtalène par exemple) mais la plupart sont sous forme particulaire. Ils contaminent l'eau, les sols et la chaîne alimentaire.

Effets

Santé

Plusieurs HAP cancérigènes dont le B[a]P, B[f]F, B[k]F, I[1,2,3-cd]P.

Enjeux

Effets sanitaires

Ces composés sont étudiés depuis de nombreuses années car ils sont présents dans tous les milieux environnementaux, et ils ont une forte toxicité. A ce titre, ils font parties d'une liste de polluants prioritaires établie dès 1976 par l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (EPA), et plus tard par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et l'Union Européenne. Les HAP ne font pas formellement partie des POPs car ils ne sont pas inclus dans la liste déclaratoire de la Convention de Stockholm. Ils se rapprochent des POPs par leurs effets sur la santé, et s'en distinguent car s'ils sont assez résistants à la biodégradation, ils sont susceptibles d'être métabolisés (sauf par les mollusques), ce qui permet une diminution des concentrations le long de la chaîne trophique.

Selon le nombre de cycles, ils sont classés en HAP légers (jusqu'à trois cycles) ou lourds (au-delà de trois cycles), et ont des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques très différentes. Le nombre de HAP susceptibles d'être rencontrés dans l'environnement est virtuellement illimité car le nombre de noyaux aromatiques accolés est lui-même sans limite, et de plus, chaque composé peut avoir une multitude d'isomères.

Pour un non-fumeur, l'alimentation est la principale voie d'exposition aux HAP. La contamination des aliments peut se faire par le dépôt de particules aériennes sur les végétaux, accumulation dans les espèces animales (viandes, poissons), ou lors de la préparation des aliments au charbon de bois. Les HAP présents dans l'eau de boisson représenteraient 1% de l'apport alimentaire total en HAP (Afssa, 2000). La deuxième voie d'exposition de l'être humain aux HAP est l'inhalation dans l'air ambiant (intérieur ou extérieur).

Une fois absorbés par les organismes, les HAP se prêtent à des réactions de transformation sous l'action d'enzymes conduisant à la formation de métabolites qui peuvent avoir un effet toxique plus ou moins marqué en se liant à des molécules biologiques fondamentales telles que les protéines, l'ARN ou l'ADN, et provoquer ainsi des dysfonctionnements cellulaires. Le benzo(a)pyrène est un des HAP les plus toxiques et cancérogène. En effet, il forme un métabolite, le Benzo(a)Pyrène-7,8-dihydrodiol-9,10-époxyde (BPDE) qui se fixe au niveau de l'ADN des cellules et entraîne des mutations pouvant à terme aboutir au développement de cancers. Outre leurs propriétés cancérogènes, les HAP présentent un caractère mutagène dépendant de la structure chimique des métabolites formés. Ils peuvent

aussi entraîner une diminution de la réponse du système immunitaire, augmentant ainsi les risques d'infection.

Objectifs de réduction

Le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP »), adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU ou UNECE en anglais). Il est entré en vigueur le 23 octobre 2003 et a été amendé en 2009. Il oblige également les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990.

En France, pour les rejets de HAP, il se traduit par une obligation à émettre moins de 46,1 tonnes par an.

Enjeux actuels

Dans l'atmosphère, les concentrations de HAP sont très variables. Elles peuvent varier de l'ordre de quelques dizaines de pg/m3 dans les régions polaires, à quelques centaines de ng/m3 dans les atmosphères urbaines les plus polluées. Ces concentrations ont tendance à diminuer, notamment grâce aux progrès réalisés par les véhicules automobiles (réduction de la consommation, utilisation de pots catalytiques, développement des filtres à particules...). La variabilité saisonnière des concentrations est marquée par des concentrations plus importantes en hiver. Ce phénomène s'explique principalement à la fois par des émissions plus fortes l'hiver (chauffage domestique), et des conditions météorologiques moins favorables (présence de couche d'inversion radiative, stabilité atmosphérique, température basse favorisant la présence des HAP dans la phase particulaire). A contrario, durant l'été, la plus forte activité photochimique favorise la dégradation des HAP. Durant leur temps de résidence dans l'atmosphère, les HAP peuvent coexister à la fois en phase gazeuse et en phase particulaire. Ce qui détermine la répartition des HAP entre la phase gazeuse et la phase particulaire, c'est leur pression de vapeur saturante. Plus les HAP sont légers, plus leur pression de vapeur saturante est élevée, et plus on les retrouve dans la phase gazeuse. Les HAP les plus lourds seront principalement liés à la phase particulaire. Les pressions partielles de saturation et donc les répartitions gaz/particules dépendent de la température. Ainsi, plus la température augmente, plus les HAP auront tendance à être présents en phase gazeuse, ce qui est effectivement observé l'été par comparaison avec l'hiver.

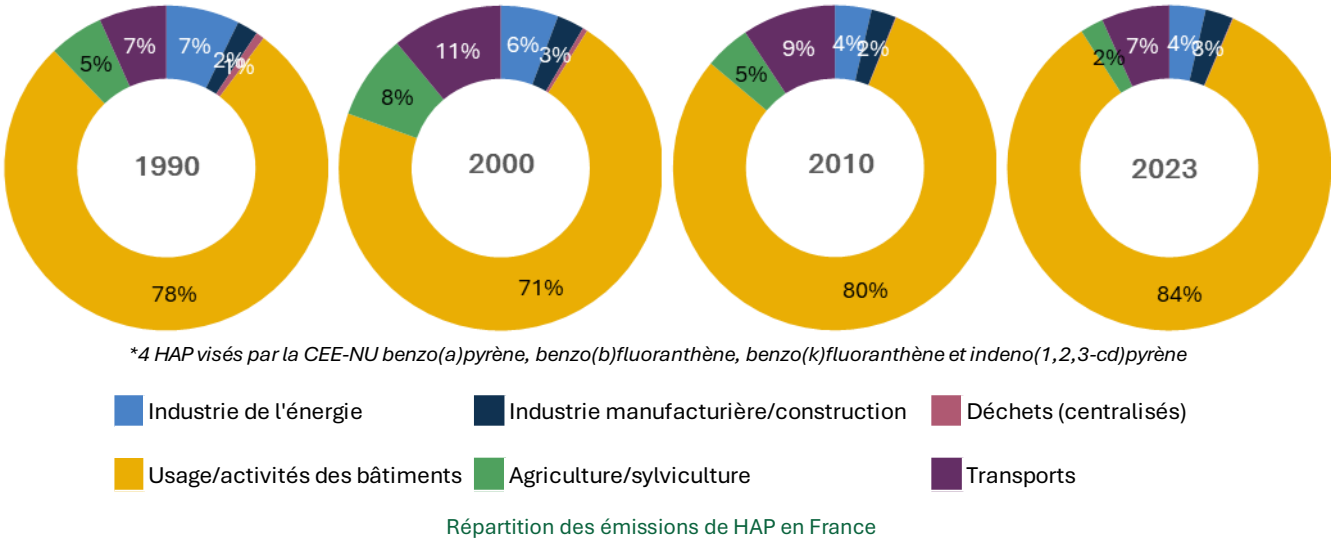
Enjeux méthodologiques et incertitudes

Ces émissions sont très sensibles aux conditions de fonctionnement, ainsi que de la nature des équipements thermiques et des dispositifs d'épuration en conséquence, les facteurs d'émission utilisés restent accompagnés d'une forte incertitude. Lorsque des mesures sont disponibles, celles-ci sont privilégiées.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 82,1%.

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de HAP en France

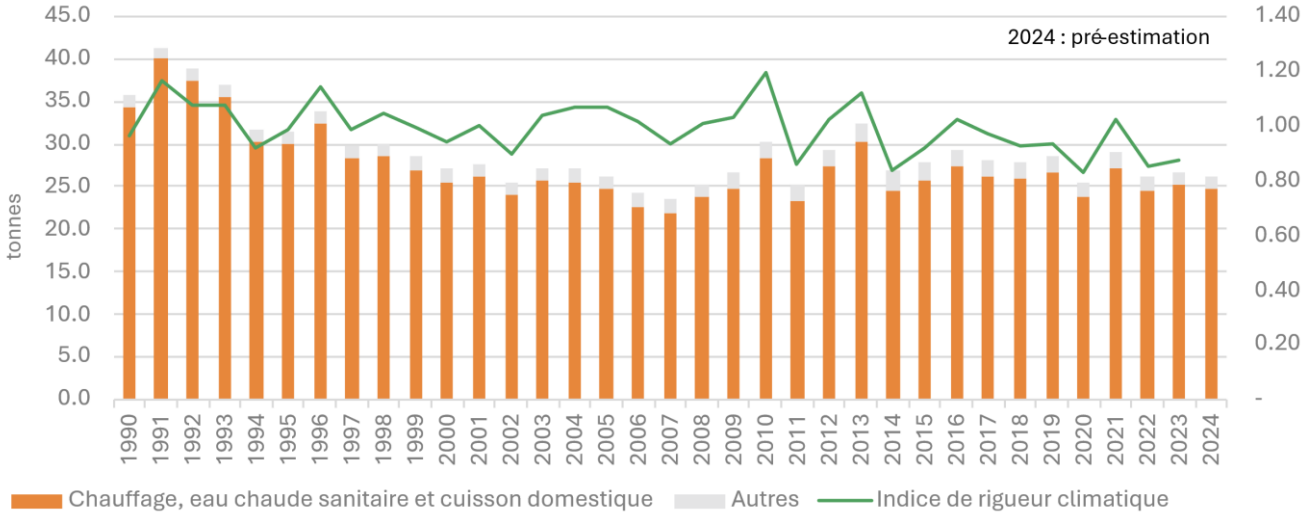
Tendance générale

Les émissions de HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) présentées dans cette section concernent uniquement les quatre HAP couverts par le Protocole d'Aarhus relatif aux POP (Polluants Organiques Persistants) de 1998 et par le règlement n°850/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 Avril 2004, à savoir le benzo(a)pyrène, le benzo(b)fluoranthène, le benzo(k)fluoranthène et l'indeno(1,2,3-cd)pyrène.

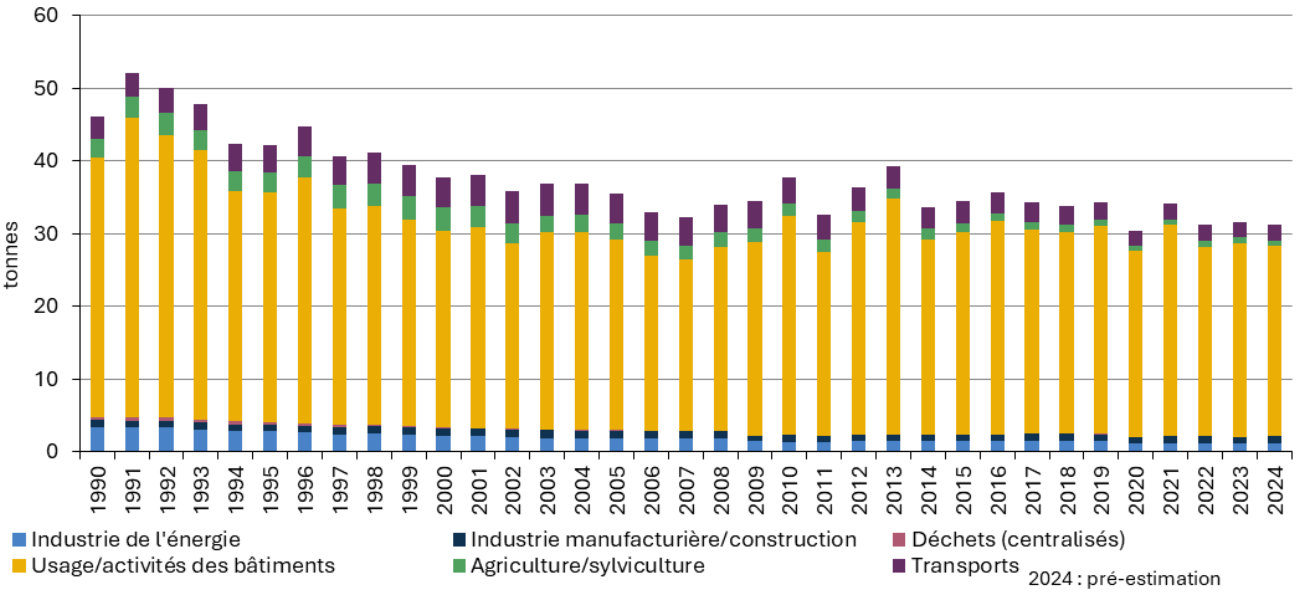
Les HAP se forment dans des proportions relativement importantes lors de la combustion et tout particulièrement lors de celle de la biomasse qui s'effectue souvent dans des conditions moins bien maîtrisées (par exemple en foyer ouvert) dans le secteur résidentiel. En 2023, près de 80% des émissions nationales (hors secteur UTCATF) sont liées à la combustion du bois dans le secteur résidentiel/tertiaire.

Tous les secteurs contribuent à ces émissions, mais le secteur résidentiel/tertiaire, et plus particulièrement le sous-secteur du résidentiel, contribue très majoritairement aux émissions totales sur l'ensemble de la série temporelle du fait de la combustion du bois essentiellement. Les émissions liées aux feux ouverts (feux de déchets verts, de véhicules etc.) contribuent pour une faible part (à peu près 5%) aux émissions du secteur résidentiel.

Sur la période 1990-2023, l'évolution interannuelle des émissions est en grande partie liée aux conditions climatiques (aux températures hivernales), qui impactent la consommation d'énergie, dont en particulier le bois dans le secteur résidentiel. Cette tendance est particulièrement visible lorsque l'on s'intéresse aux émissions du secteur résidentiel/tertiaire en comparaison de la rigueur climatique calculée sur le territoire. L'indice de rigueur climatique est une grandeur adimensionnelle permettant de représenter la rigueur hivernale par rapport à une période de référence (que l'on fixe à 1). Si l'indice est supérieur à 1, l'année considérée a été plus rigoureuse qu'une année moyenne et à l'inverse, si l'indice est inférieur à 1, l'année considérée a été moins rigoureuse qu'une année moyenne.



Répartition des émissions de HAP du secteur des usages/activités des bâtiments résidentiels/tertiaires en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de HAP depuis 1990 par secteur en France (Métropole)

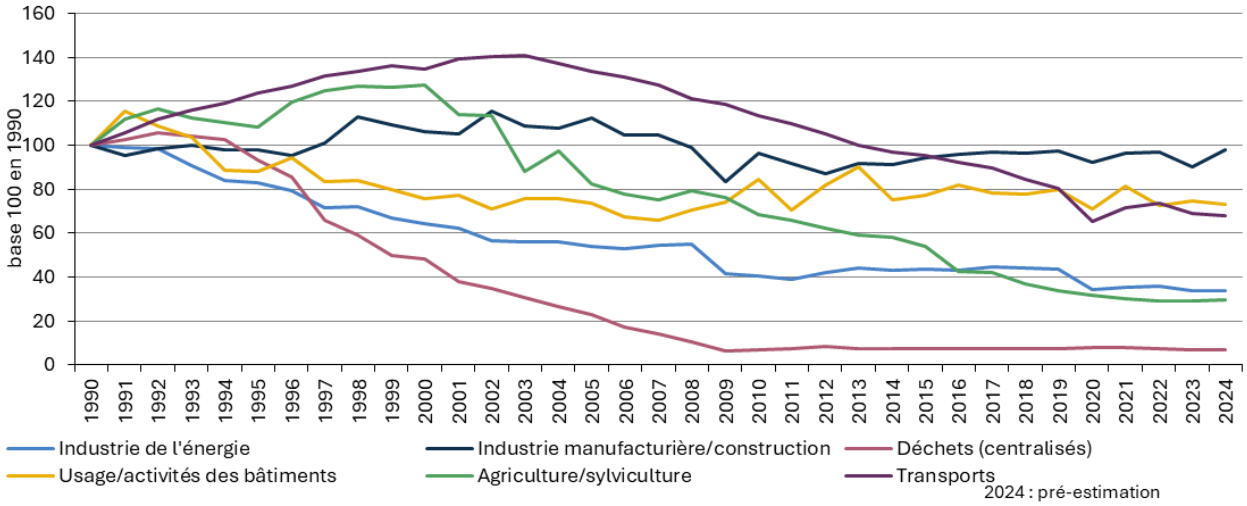
Cependant, globalement sur l'ensemble de la série temporelle, les émissions totales ont diminué de moins de la moitié. Cette baisse est observée sur l'ensemble des secteurs qui contribuent aux émissions.

Concernant le secteur résidentiel/tertiaire, les émissions du sous-secteur résidentiel ont diminué de près de 25% entre 1990 et 2023. Cette décroissance est le résultat, notamment, du renouvellement d'appareils anciens dans le secteur domestique. Toutefois, on note que les émissions de HAP présentent une tendance à hausse depuis 2007, où elles ont atteint un seuil minimal. Ainsi la période 1990 – 2007 présente une réduction des rejets de 34%.

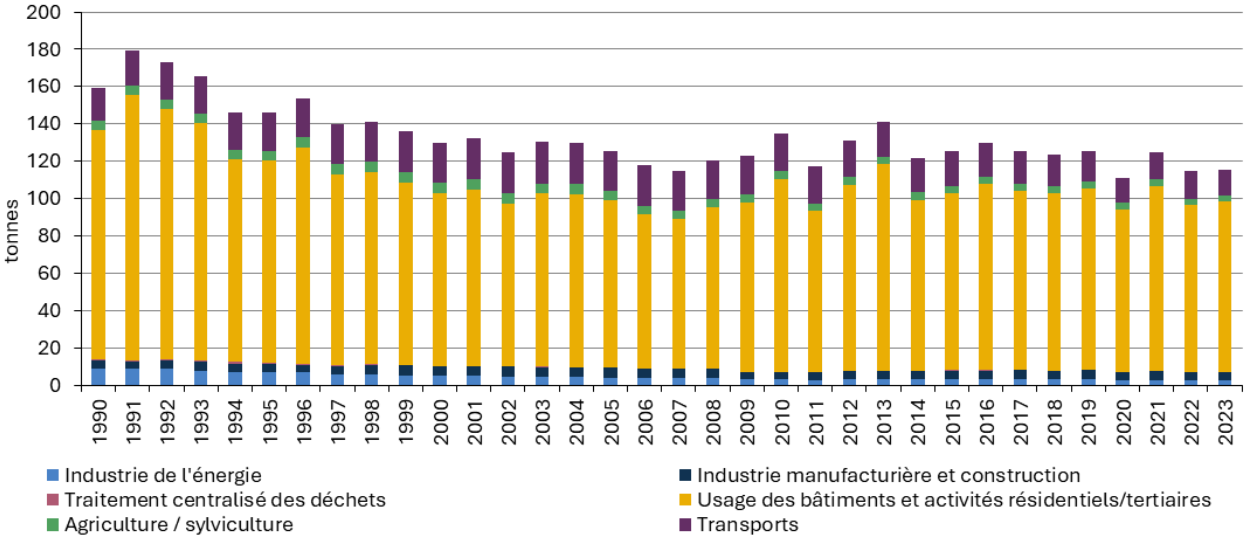
Néanmoins, dans certains secteurs tels que le transport routier, cette baisse est moins importante entre 1990 et 2023 du fait de la croissance du trafic et de la pénétration des véhicules diesel dans le parc, qui a eu tendance à augmenter les émissions de HAP jusqu'en 2003 avant d'entamer une lente décroissance.

Les émissions de HAP « hors total » évoluent d'une année à l'autre essentiellement du fait de l'évolution annuelle des superficies de forêts et de végétation brûlées.

L'étude complémentaire de spéciation des HAP présentée dans le rapport SECTEN 2017 présente l'évolution des émissions des huit HAP réglementés en France (dont seulement quatre ont l'obligation d'être rapportés). En prenant en compte ces huit HAP, le niveau des émissions de HAP est alors au moins quatre fois supérieur à celui des HAP ici rapportés.



Evolution des émissions dans l'air de HAP en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Détail pour les 8 HAP dits réglementés. Total des 8 HAP réglementés en France (arrêté du 02/02/1998 modifié) : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, indeno(1,2,3-cd)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, fluoranthène, dibenzo(a,h)anthracène, benzo(a)anthracène

Évolution récente

Sur les années récentes le secteur résidentiel reste la source majoritaire de HAP. Les émissions sont toujours largement associées aux conditions climatiques. Ainsi, les émissions élevées en 2010 et 2013 sont essentiellement dues à l'augmentation de la consommation de bois dans le secteur résidentiel/tertiaire (année au climat hivernal froid). A l'inverse, les émissions plus faibles observées en 2007, 2011 et 2014 coïncident avec la douceur climatique de ces années-là.

La poursuite de la pénétration d'appareils à combustion de biomasse de plus en plus performants, notamment en renouvellement d'appareils anciens dans le secteur domestique, devrait conduire à réduire progressivement les émissions dans le futur (indépendamment des fluctuations de parcs et de consommations).

Spéciation

En 2023, le fluoranthène est le représentant des HAP le plus émis en France pour l'ensemble des secteurs à l'exception du secteur du traitement des déchets. En effet par ordre décroissant dans la part qu'il occupe dans les rejets totaux, le fluoranthène représente 68% des rejets industriels, 66% dans les transports, 63% en agriculture, 54% pour le secteur du résidentiel/tertiaire et enfin 23% dans l'industrie de l'énergie contre seulement 0,2% pour le secteur du traitement des déchets.

Deux autres molécules sont plus représentées dans les émissions des différents secteurs que leurs congénères. Le benzo(a)anthracène qui constitue la seconde substance la plus présente dans les rejets des secteurs du transport (12%) et du résidentiel/tertiaire (13,4%), et le benzo(b)fluoranthène qui représente près de 25% des rejets du secteur des déchets, 17% des rejets de l'industrie de l'énergie et 7% des rejets de l'agriculture.

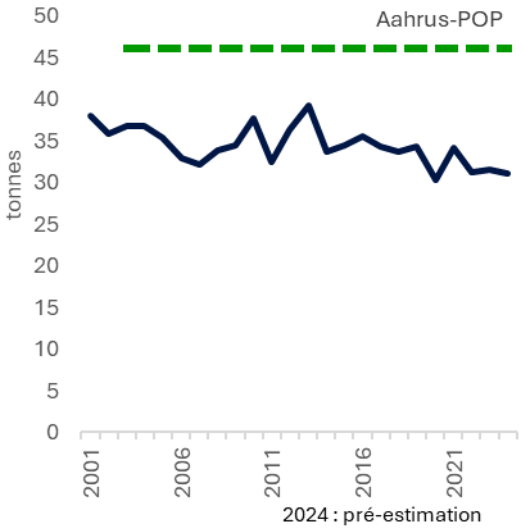
Enfin on peut noter que le secteur des déchets n'émet que quatre des huit substances, et ce à parts quasi égales : le benzo(a)-pyrène, le benzo(b)fluoranthène, le benzo(k)fluoranthène et l'indenol(1,2,3-cd)pyrène.

Atteinte des objectifs

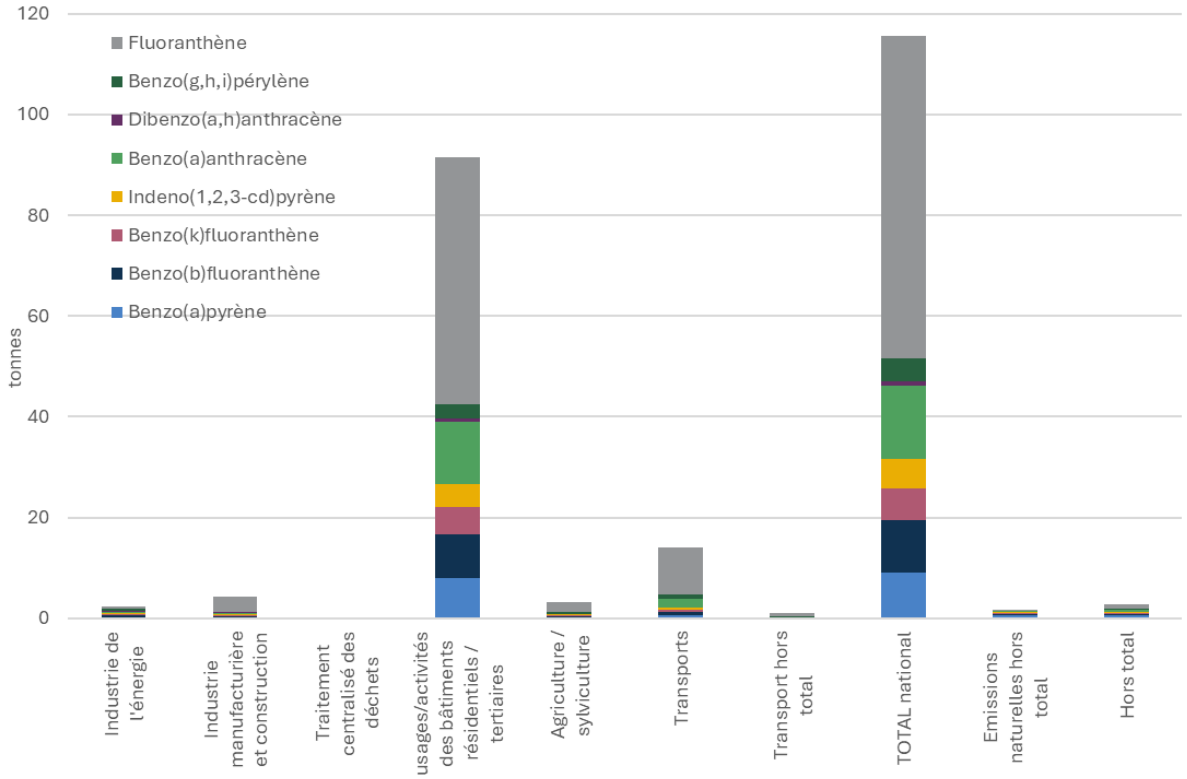
Le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP »), adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU ou UNECE en anglais). Il est entré en vigueur le 23 octobre 2003 et a été amendé en 2009. Il oblige également les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990.

En France, pour les rejets de HAP, le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP ») se traduit par une obligation à émettre moins de 46,1 tonnes par an. Ce plafond est respecté avec des émissions en dessous du seuil de 40 tonnes ces dernières années.

En 2023, les émissions totales françaises de HAP étaient de 31,6 tonnes, soit une diminution de 31,5% par rapport aux rejets de l'année 1990.



Emissions de HAP et objectif du Protocole d'Aarhus



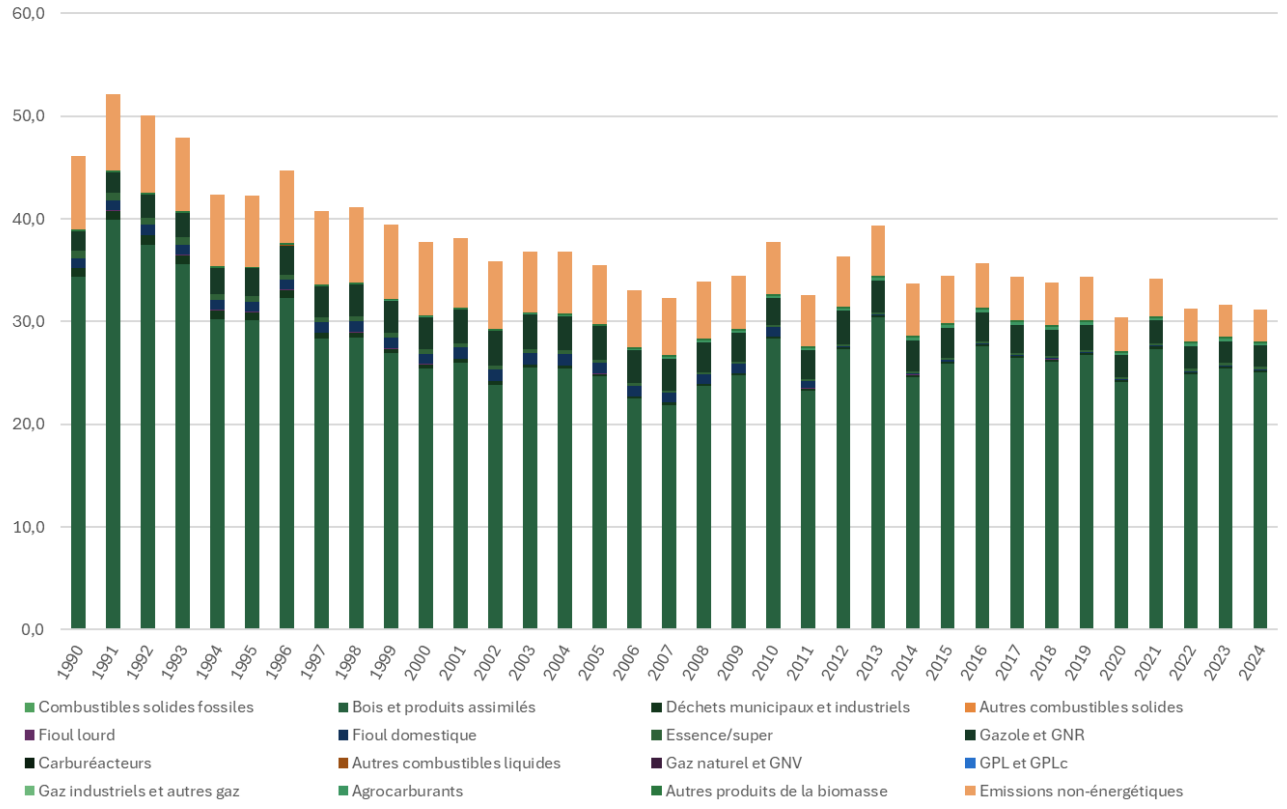
Répartition des émissions des 8 HAP par secteur en France en 2023 (Métropole)

Part des émissions liées aux combustibles

Les rejets de HAP sont principalement pilotés par la combustion du bois et de produits assimilés. Sur la période 1990 à 2023, la part de ceux-ci est passée de 75% à 81% avec une baisse observée autour de l'an 2000.

En parallèle, l'utilisation de gazole et de GNR a vu sa participation aux rejets totaux croître. Entre 1990 et 2023, ces carburants ont vu leur part aux émissions nationales croitre de 4% à 7% avec un pic à 10% en 2006 et 2007.

En parallèle de la baisse progressive des émissions énergétiques, la part des rejets attribuée aux procédés non énergétiques a diminué, passant de 16% au début des années 1990 à 10% en 2023 (avec un pic à 19% en 2000).

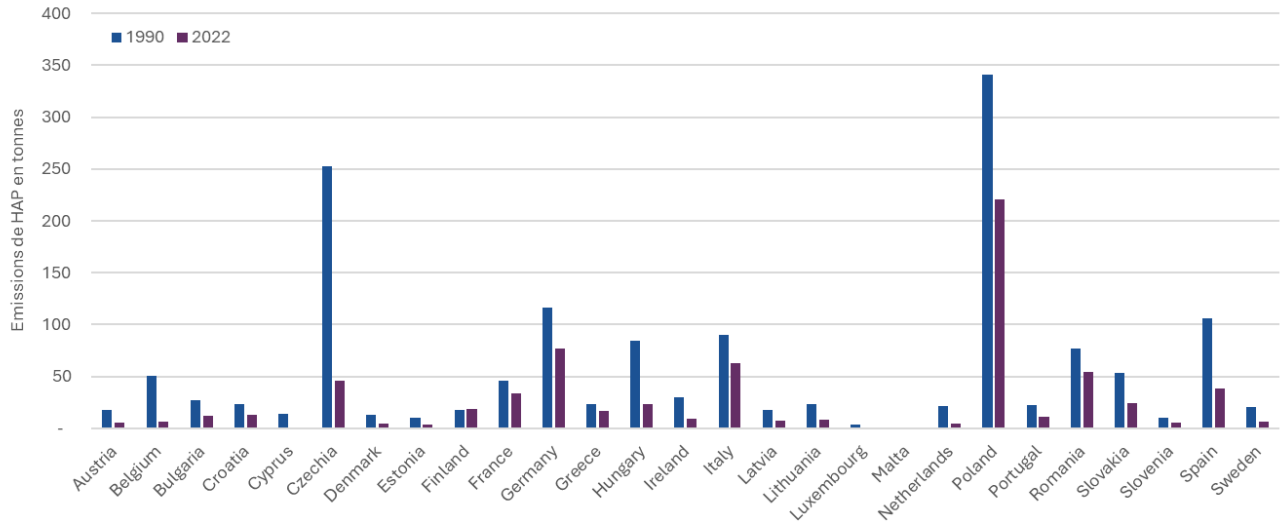


Répartition des émissions de HAP par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

En 1990 la Pologne était le pays le plus émetteur de HAP (341 tonnes) suivi de la République tchèque (253 tonnes) et de l'Allemagne (116 tonnes). Ils totalisaient ensemble 47% des émissions de l'Union Européenne. En 2022 on constate que l'Allemagne et la Pologne étaient les deux plus gros émetteurs de HAP de l'UE (respectivement 77 tonnes et 221 tonnes). Le 3ème pays le plus émetteur en 2022 étaient l'Italie avec 63 tonnes émises.

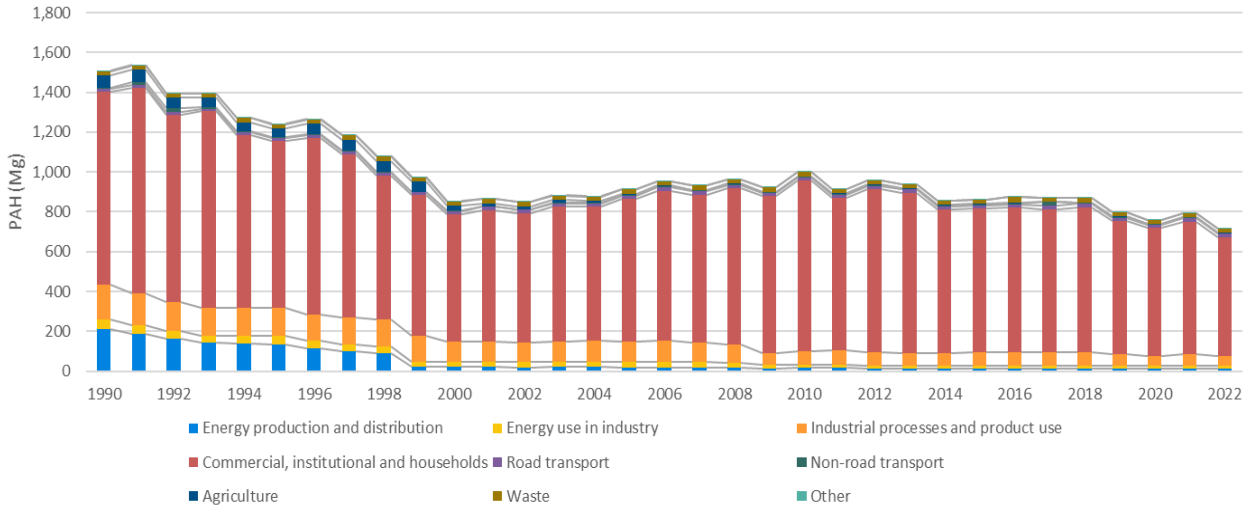
Comme pour les dioxines et furanes, tous les pays membres ont vu leurs émissions décroître entre 1990 et 2022. La France était le 7ème pays émetteur de HAP (4,8%) au sein de l'UE en 2022 (et le 10ème en 1990).



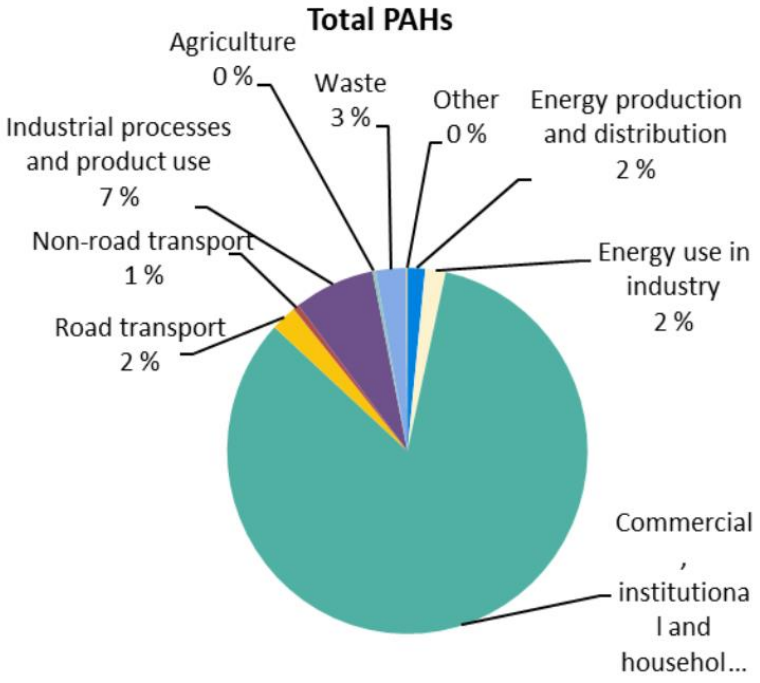
Source : European emission inventory report 1990 - 2022 - European Environement Agency

Evolution des émissions de HAP des pays de l'UE-27 entre 1990 et 2022

Enfin, entre 1990 et 2022, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 53% des rejets de HAP, passant de 1 511 tonnes à 714 tonnes. En 2022, les deux principaux secteurs émetteurs étaient les secteurs résidentiels et tertiaire (83%) et l'industrie manufacturière (7%).



Emissions de HAP de l'Union Européenne (27) entre 1990 et 2022 - European emission inventory report 1990-2022 - European Environment Agency


Total PAHs
Agriculture 0 %
Waste 3 %
Other 0 %
Energy production and distribution 2 %
Industrial processes and product use 7 %
Non-road transport 1 %
Energy use in industry 2 %
Road transport 2 %
Commercial, institutional and household...

PCB | Polychlorobiphényles

Type
Polluant atmosphérique organique persistant

Définition
Les polychlorobiphényles (PCB) sont une famille de polluants d'origine synthétique qui se retrouvent dans la chaîne alimentaire à la suite de l'accumulation dans les graisses animales.

Les PCB sont des polluants organiques persistants (POP) présentant des risques sur la santé de l'homme et sont notamment cancérigènes.

Composition chimique
Douze atomes de carbone (C) et de 1 à 10 atomes de chlore (Cl) composent les polychlorobiphényles.

Origine
Sources anthropiques : métallurgie des métaux ferreux (aciéries électriques) ; production d'électricité ; incinération de déchets ; combustion de biomasse et de combustibles minéraux solides ; traitement des déchets (principalement jusqu'en 2003).

Source naturelle : aucune

Phénomènes associés
Contamination de l'air, des sols, de l'eau, des sédiments et de la chaîne alimentaire

Effets

Santé

Cancérigène

Enjeux

Effets environnementaux et sanitaires

Les polychlorobiphényles (PCB) forment une famille de 209 composés aromatiques organochlorés dérivés du biphényle. Ce sont des liquides plus ou moins visqueux, insolubles dans l'eau pour la plupart et très stables à la chaleur, ils ne se décomposent qu'à des températures dépassant 1 000 °C. Leur inertie chimique les rend peu sensibles aux acides, bases et oxydants. Ils se déplacent rapidement dans l'atmosphère mais lentement dans les sols et les sédiments.

L'industrie a fabriqué depuis la fin des années 1920 près de deux millions de tonnes de PCB. Ils ont surtout été utilisés comme fluides caloporteurs dans les condensateurs et les transformateurs électriques mais également comme fluides hydrauliques lubrifiants, produits ignifugeants et constituants de peintures, vernis, encre, papiers autocopiants et pesticides. Pendant 40 ans, ces produits ont été jetés par leurs utilisateurs dans des décharges, le long des routes, dans les égouts ou des cours d'eau sans se préoccuper des répercussions environnementales. Puis, en 1966, dans une étude qui a fait date, destinée à l'origine à détecter le DDT dans l'environnement, le chercheur danois Sören Jensen révélait que les PCB étaient très répandus. Par la suite, d'autres équipes de recherche ont trouvé des PCB dans la quasi-totalité des écosystèmes planétaires. Leur fabrication et leur utilisation sont interdits dans de nombreux pays depuis les années 1970 (l'Union soviétique n'a arrêté d'en produire qu'à partir des années 1990) mais des stocks sont toujours existants. Dans les pays qui ont adoptés des lois sur les déchets dangereux, une partie des PCB est enfouie ou jetée après une incinération contrôlée qui casse leur structure moléculaire et stoppe leur bioactivité. On estimait en 1989 que seuls 30% des PCB fabriqués à l'époque avaient été émis dans l'environnement dont 1% seulement avait atteint les océans. Les 29% restants s'étant dispersés dans les sols, les lacs et les fleuves.

Les PCB sont toxiques, écotoxiques et reprotoxiques, y compris à faible dose en tant que perturbateurs endocriniens. Ils imitent l'action de certaines hormones comme l'estrogène et bloquent l'action de certaines autres comme les hormones thyroïdiennes. Chez les embryons notamment, ils peuvent, même en faible quantité, tuer l'organisme qui se développe, ou bien toucher le système nerveux, le cerveau ou les fonctions reproductrices.

Ce sont des polluants ubiquitaires et persistants (demi-vie de 94 jours à 2 700 ans selon les molécules). Leur toxicité est variable selon leur nombre d'atomes de chlore et selon la configuration spatiale de leurs molécules. A l'instar des PCCD-F, les PCB sont liposolubles, ils font partie des contaminants bioaccumulables fréquemment trouvés dans les tissus gras chez l'humain (dont le lait maternel) et tout au long de la chaine alimentaire. Ils sont classés comme « cancérogènes probables » (groupe 2A du CIRC) pour les cancers hépatobiliaires (cancer du foie, cancer

des voies biliaires, cancer du pancréas), et le PCB 126 a été classé cancérogène certain.

En raison de leurs caractéristiques chimiques et de leur rémanence (longue durée de vie liée à leur stabilité chimique et leur très faible biodégradabilité), les PCB sont des polluants encore fréquemment trouvés dans l'environnement : à proximité des lieux de production et d'élimination, sur les lieux d'accident, dans les sédiments sur de vastes zones, et par suite dans certaines boues de curage.

Les PCB sont bioaccumulables dans le réseau trophique notamment par les poissons gras et leurs prédateurs : les oiseaux pêcheurs et les mammifères marins. Certains animaux prédateurs mobiles et grands migrateurs (phoques et cétacés en particulier) peuvent aussi les « exporter » (phénomène de bioturbation) dans des régions éloignées des sites pollués, via leurs déplacements et leurs cadavres à cause de la place qu'ils occupent dans la chaîne alimentaire.

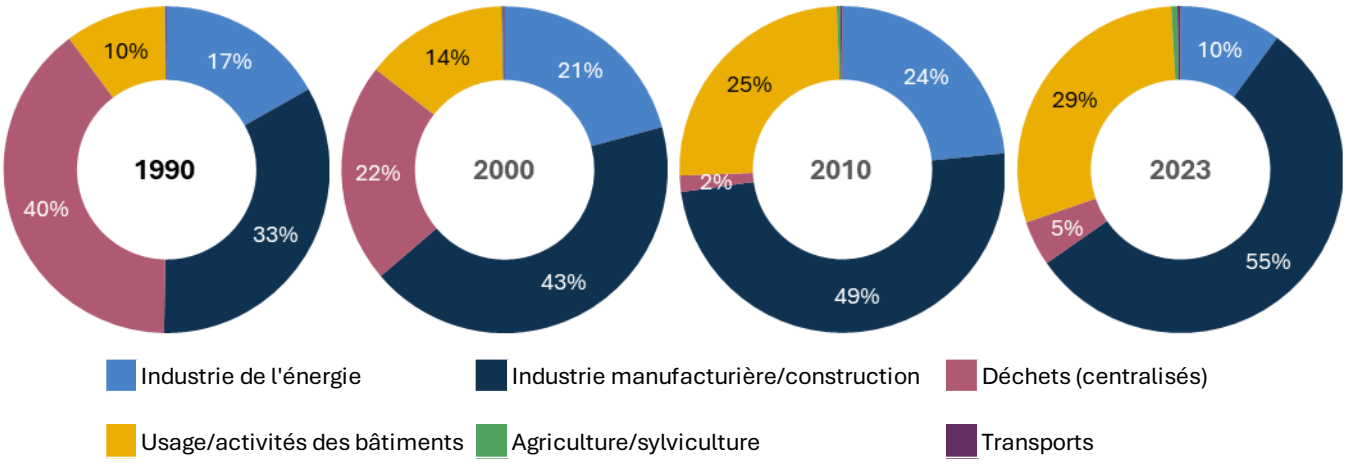
Chez l'être humain, les matières animales grasses sont la première source d'exposition alimentaire. La contamination aux PCB est principalement liée à la consommation de poisson et de lait.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 45,6%.

Principaux secteurs émetteurs

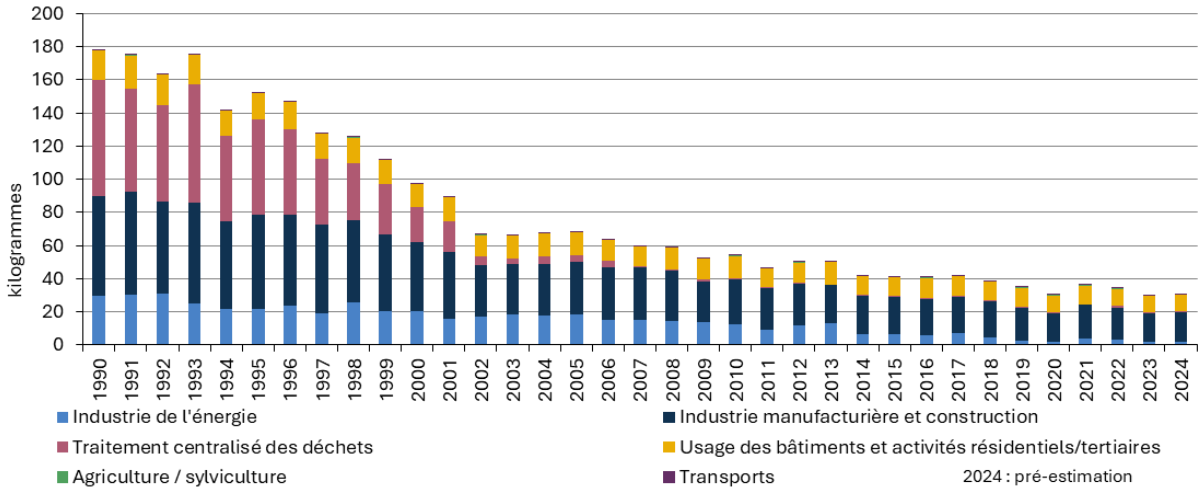


Répartition des émissions de PCB en France

Tendance générale

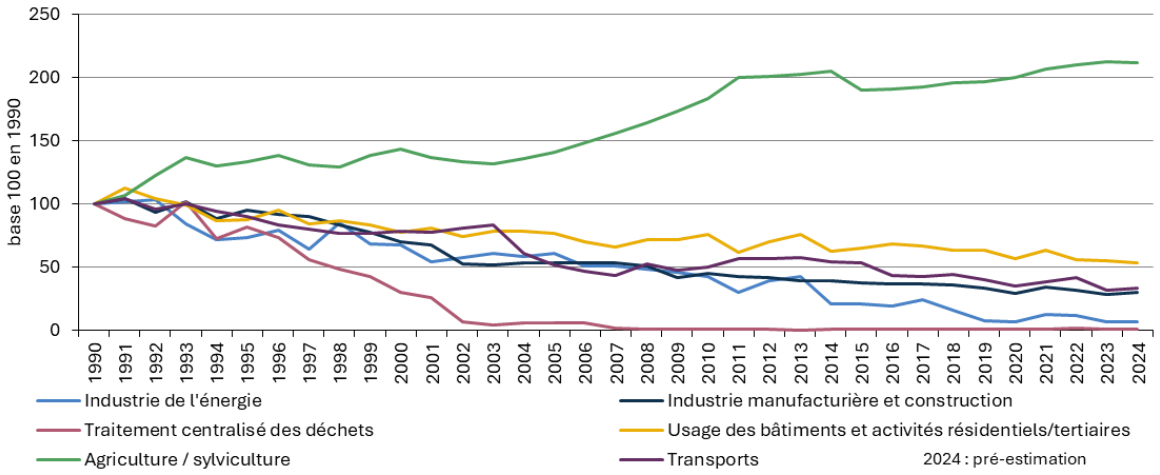
Entre 1990 et 2023, les émissions totales ont diminué de 83%. Cette baisse est observée sur l'ensemble des principaux secteurs émetteurs mais elle est la plus marquée dans le secteur du traitement centralisé des déchets, puis celles des secteurs de la transformation d'énergie et de l'industrie manufacturière.

Dans le secteur du traitement centralisé des déchets, la baisse importante des émissions entre 1990 et 2023 (plus de 99%) est imputable, d'une part, aux installations de traitement des déchets industriels dangereux et non dangereux (mise en conformité avec l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux déchets dangereux) et, d'autre part, à l'incinération de déchets hospitaliers, à la suite de la baisse des quantités incinérées (mise en conformité de ces installations avec l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux déchets non dangereux).



Evolution des émissions dans l'air de PCB depuis 1990 en France (Métropole)

Dans le secteur de la transformation d'énergie, la principale source d'émission est la production d'électricité. Depuis 1990, les émissions de ce secteur ont presque été divisées par 10 suite, en particulier, à la mise en place de traitements des effluents atmosphériques sur les installations d'incinération avec récupération d'énergie, afin de respecter les nouvelles valeurs limites en PCDD-F définies dans l'arrêté du 20 septembre 2002 (directive européenne 2000/76/CE), qui impactent également les émissions de PCB.



Evolution des émissions dans l'air de PCB en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Concernant le secteur de l'industrie manufacturière, les émissions proviennent essentiellement de la métallurgie des métaux ferreux en 2023 (63% des rejets du secteur), de l'industrie des minéraux non-métalliques et des matériaux de construction (13%) et du sous-secteur de la chimie en (5% du émissions du secteur). La baisse de plus de 70% des émissions du secteur entre 1990 et 2023 est principalement liée à la décroissance très importante des émissions du sous-secteur de la chimie (plus de 97%), dans lequel sont rapportées les émissions de l'incinération in-situ des déchets industriels dangereux.

Concernant la métallurgie, la baisse des émissions sur la période 1990-2023 est plus modérée (environ -44%). Les émissions de ce sous-secteur ont été relativement stables jusqu'à la crise de 2009 où une diminution constante jusqu'à aujourd'hui a été initiée.

Pour le secteur résidentiel/tertiaire, les émissions proviennent principalement du résidentiel et la baisse des émissions entre 1990 et 2023 fait suite à une réduction de la consommation de charbon.

Évolution récente

Ces dernières années, en France, les émissions atmosphériques de PCB sont principalement dues soit à une formation accidentelle dans les divers procédés de combustion, soit à l'élimination de produits ou matériaux contenant des PCB.

Trois secteurs contribuent principalement aux émissions de PCB en 2023, à savoir, par ordre de prédominance, l'industrie manufacturière (57%), le résidentiel/tertiaire (31%) et dans une moindre mesure, la transformation d'énergie (6%). Les autres secteurs ont une contribution faible (entre 1% et 2%). En 1990 le secteur du traitement centralisé des déchets était prédominant avec près de 40% des émissions totales de PCB.

Dans les années récentes, les faibles émissions constatées en 2011 sont liées au secteur de la transformation d'énergie et plus particulièrement de la production d'électricité du fait de la faible consommation de charbon car 2011 est une année au climat très doux. De même, la forte baisse constatée en 2014 et les faibles niveaux d'émissions depuis lors sont principalement liés au passage au gaz naturel ou à l'arrêt de plusieurs sites de production centralisés d'électricité.

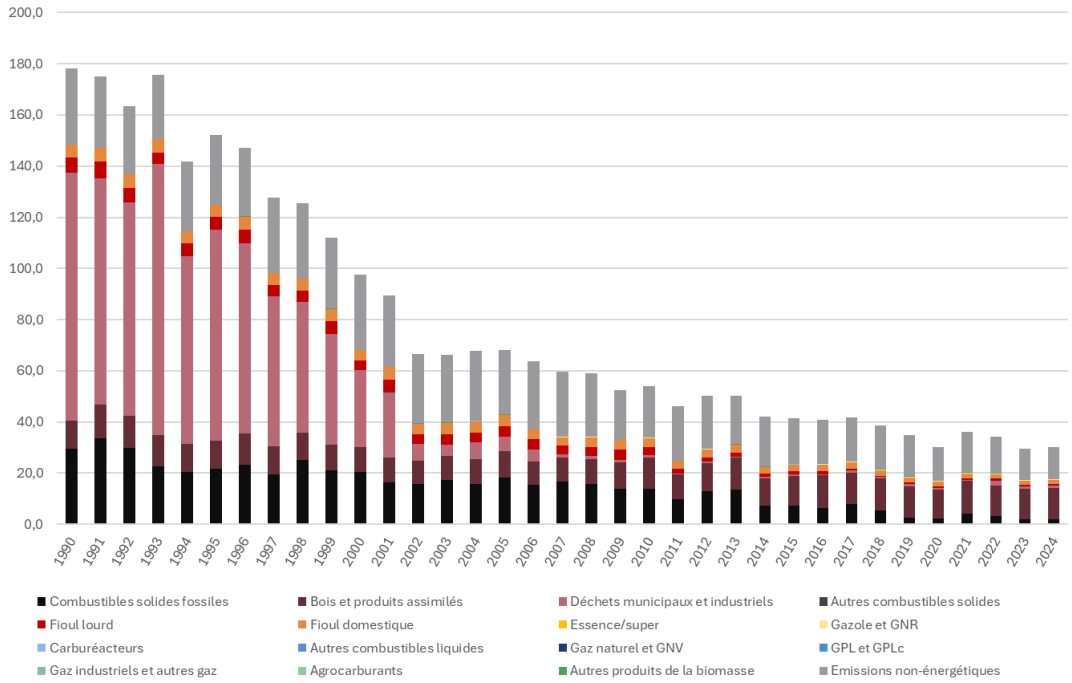
Part des émissions liées aux combustibles

En 1990, la combustion des déchets représentait 54% des émissions nationales de PCB. Cette part a augmenté jusqu'en 1993 atteignant les 60% puis a rapidement décrue pour atteindre les 2% à partir de 2007. Aujourd'hui la combustion des déchets est responsable de seulement 1% à 5% (en fonction des années) des rejets de PCB en France.

Jusqu'en 2018, les combustibles fossiles solides occupaient une place relativement importante dans les émissions de PCB. Sa part dans les rejets globaux a fluctuée entre 13% (en 1993) et 28% (en 2007). En 2019/2020, les émissions associées à la consommation de combustibles fossiles ont atteint leur seuil le plus bas jusqu'alors avec seulement 8% des rejets globaux. Cette baisse s'explique par une diminution de la consommation de charbon des centrales électriques françaises en 2019 et 2020. On note que la hausse de la consommation de charbon en 2021 a entrainé une hausse des émissions associées (12% du total). En 2023, les combustibles fossiles solides représentaient 6% des émissions nationales de PCB.

Les émissions de polychlorobiphényles liées à la combustion du bois sont restées plutôt stables sur la période 1990-2023. Ainsi, en lien avec une réduction des émissions globales, la part de ces dernières dans les émissions totales est passée de 6% en 1990 à 41%% en 2023.

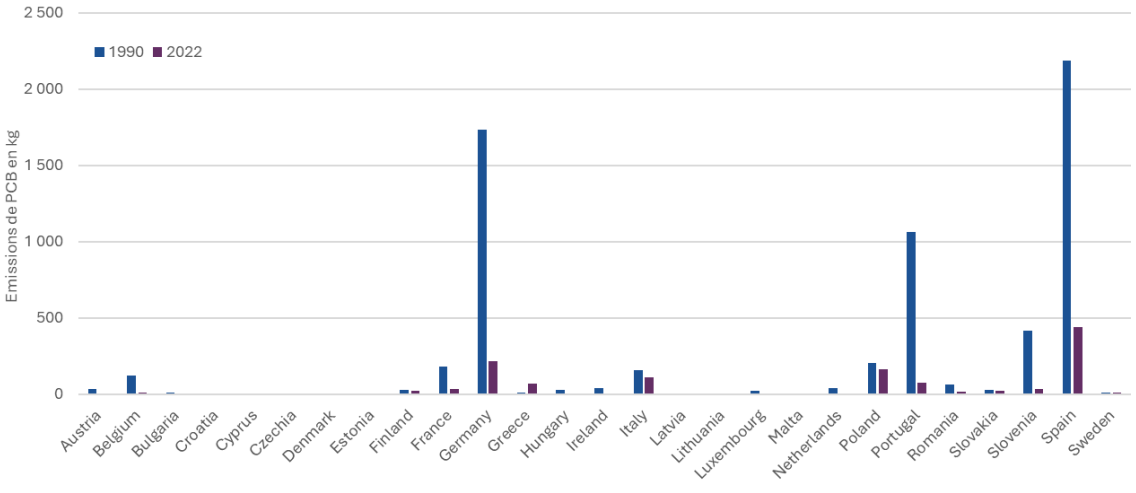
Enfin, les émissions non-énergétiques sont restées stables entre 1990 et 2004 et ont entamé une baisse à partir de 2005. Ainsi, dans un contexte de diminution générale des émissions nationales, la part des émissions non-énergétiques est passée de 17% en 1990 à 41% en 2023.



Répartition des émissions de PCB par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

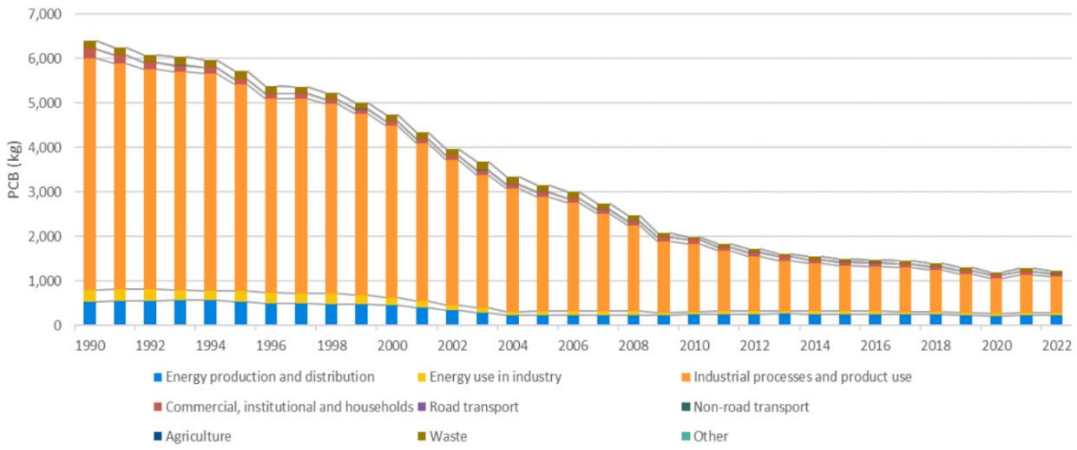
En 1990 l'Espagne était le premier émetteur de l'Union Européenne avec 34% des émissions totales, suivi de l'Allemagne (27%) et du Portugal (17%). En 2022 les rejets européens ont chuté de 81% par rapport à 1990. En 2022 les principaux contributeurs aux émissions de l'UE sont l'Espagne (36%), l'Allemagne (17%) et la Pologne (13%). La France est le 8ème contributeur aux émissions de PCB en 2022 (6ème en 1990). Sur la période 1990 - 2022, seule la Grèce a vu ses rejets croitre (+672%).



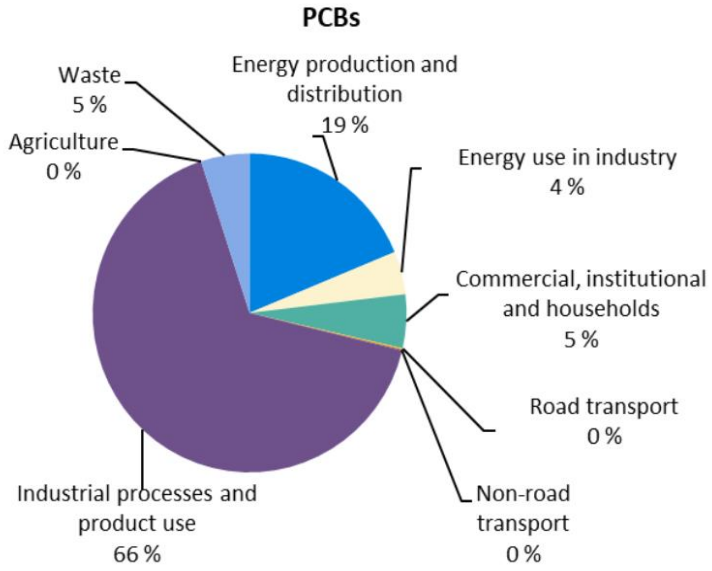
Source : European emission inventory report 1990 - 2022 - European Environement Agency

Evolution des émissions de PCB des pays de l'UE-27 entre 1990 et 2022

Enfin, entre 1990 et 2020, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 75% des rejets de PCB, passant de 4 731 kg à 1 204 kg. En 2020, le principal secteur émetteur est le secteur de l'industrie manufacturière (65%).



Emissions de PCB de l'Union Européenne (27) entre 1990 et 2022 - European emission inventory report 1990-2022 - European Environment Agency



Emissions de PCB de l'Union Européenne (27) entre 1990 et 2022 - European emission inventory report 1990-2022 - European Environment Agency

HCB | Hexachlorobenzène

Type
Polluant atmosphérique organique persistant

Définition
L'hexachlorobenzène (HCB) est un polluant uniquement anthropique. C'est un polluant organique persistant (POP) présentant un effet cancérigène (groupe 2B) pour l'homme.

Composition chimique
Six atomes de carbone (C) et de chlore (Cl) composent l'hexachlorobenzène.

Origine
Sources anthropiques : combustion de carburant et, dans une moindre mesure, de biomasse et de combustibles minéraux solides ; incinération de déchets ; production d'aluminium (jusqu'en 1993) ; incinération des boues de stations d'épurations ; métallurgie des métaux non ferreux ; production des caoutchoucs synthétiques ; application de pesticides

Phénomènes associés
Par sa persistance, contamination de l'air, des sols, de l'eau, des sédiments et de la chaîne alimentaire

Effets

Santé

Cancérigène

Enjeux

Effets environnementaux et sanitaires

L'hexachlorobenzène est un composé chimique de formule C_6Cl_6. Il s'agit d'un composé organique aromatique dérivant formellement du benzène C_6H_6 par substitution des six atomes d'hydrogène par six atomes de chlore.

Très peu de données sont disponibles sur les effets sur la santé de l'hexachlorobenzène chez l'être humain ou l'animal après exposition par inhalation. Des études animales ont rapporté des effets sur le foie, la peau, le système immunitaire, les reins et le sang d'une exposition orale chronique à l'hexachlorobenzène.

L'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) des Etats Unis nous informe que la dose de référence (RfD) pour le HCB est de 0,0008 milligrammes par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/j) sur la base des effets sur le foie chez le rat. Le RfD est une estimation (avec une incertitude couvrant peut-être un ordre de grandeur) d'une exposition orale quotidienne à la population humaine (y compris des sous-groupes sensibles) qui est susceptible d'être sans risque appréciable d'effets délétères non cancéreux au cours d'une vie.

Une étude a signalé un développement physique anormal chez de jeunes enfants ayant ingéré du pain contaminé lors d'un empoisonnement. Il a été constaté que l'hexachlorobenzène diminue les taux de survie des nouveau-nés et traverse le placenta et s'accumule dans les tissus fœtaux de plusieurs espèces animales. Des effets neurologiques, tératogènes, hépatiques et du système immunitaire ont été signalés chez la progéniture d'animaux exposés oralement à l'hexachlorobenzène pendant leur grossesse.

Il s'agit d'un cancérogène probable pour l'être humain dont les effets sont avérés chez les animaux et fait partie des cancérogènes du groupe 2B du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Il a été démontré que l'hexachlorobenzène, lorsqu'il est administré par voie orale, induit des tumeurs du foie, de la thyroïde et des reins chez plusieurs espèces animales. L'EPA utilise des modèles mathématiques, basés sur des études animales, pour estimer la probabilité qu'une personne développe un cancer en respirant de l'air contenant une concentration spécifiée d'un produit chimique. L'EPA estime que, si une personne respire en continu de l'air contenant de l'hexachlorobenzène à une moyenne de 0,002 µg/m^3 pendant toute sa vie, cette personne n'a théoriquement pas plus d'une chance sur un million de développer un cancer en conséquence directe de la respiration d'air contenant ce produit chimique. De même, l'EPA estime que respirer de l'air contenant 0,02 µg/m3 d'HCB entraînerait une augmentation d'au moins un risque sur cent mille de développer un cancer et de l'air contenant 0,2 µg/m^3 d'HCB entraîneraient une augmentation d'au moins un risque sur dix mille de développer un cancer.

Objectifs de réduction

Le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP ») a été adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des

Nations unies (CEE-NU ou UNECE en anglais). Il est entré en vigueur le 23 octobre 2003 et a été amendé en 2009. Il oblige les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990.

En France, pour les rejets de HCB, il se traduit par une obligation à émettre moins de 1 639 kilogrammes par an.

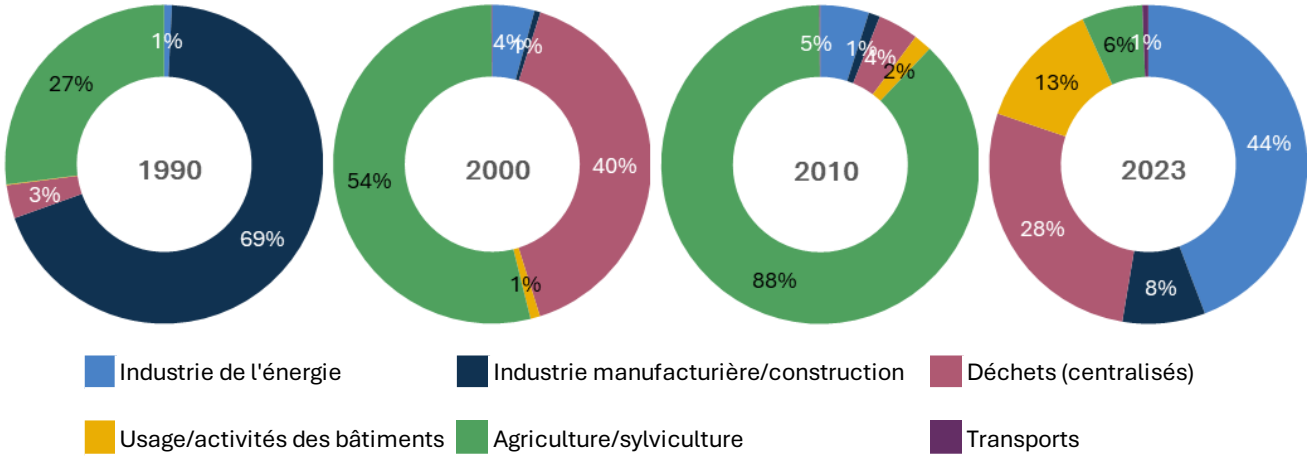
Enjeux méthodologiques

Ces émissions sont très sensibles aux conditions de fonctionnement, en conséquence, les facteurs d'émission utilisés restent accompagnés d'une forte incertitude. Lorsque des mesures sont disponibles, celles-ci sont privilégiées.

▶ Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, téléchargez la dernière édition de notre rapport méthodologique « Ominea ».

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 48,6%.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de HCB en France

Tendance générale

Les processus conduisant à la production de dioxines, produisent généralement aussi des HCB. Tous les secteurs, excepté le transport routier, émettent des HCB en France métropolitaine. Les émissions de HCB ont très fortement diminué puisqu'elles ne représentent aujourd'hui (2023) que 0,4% du niveau de 1990.

En 1990, l'industrie manufacturière représentait près de 69% des émissions totales de HCB. La principale source d'émission était alors le sous-secteur de la métallurgie des métaux non ferreux, et plus particulièrement la production d'aluminium de seconde fusion. Les émissions de ce sous-secteur ont très fortement diminué depuis 1990 et sont nulles depuis 2000. En outre, on constate une diminution drastique de l'industrie entre 1993 et 1994 (-99,4%). En effet, le chlore était utilisé pour affiner l'aluminium en éliminant les traces de magnésium. Jusqu'au début des années 1990, l'hexachloroéthane était utilisé comme apport de chlore et était à l'origine des émissions de HCB. Du point de vue réglementaire, l'hexachloroéthane est interdit depuis 1993 dans l'affinage de l'aluminium de seconde fusion.

En 2023, le premier acteur des émissions de HCB est la transformation d'énergie (avec près de 44% des émissions totales), et plus particulièrement l'incinération des déchets avec récupération d'énergie. La diminution de près de 80% depuis 1990 est liée à la mise en place des techniques de réduction avant tout destinées aux dioxines mais qui sont également efficaces sur les HCB.

Depuis 2008 et jusqu'en 2021, le secteur contributeur majeur est l'agriculture, responsable de 56% des

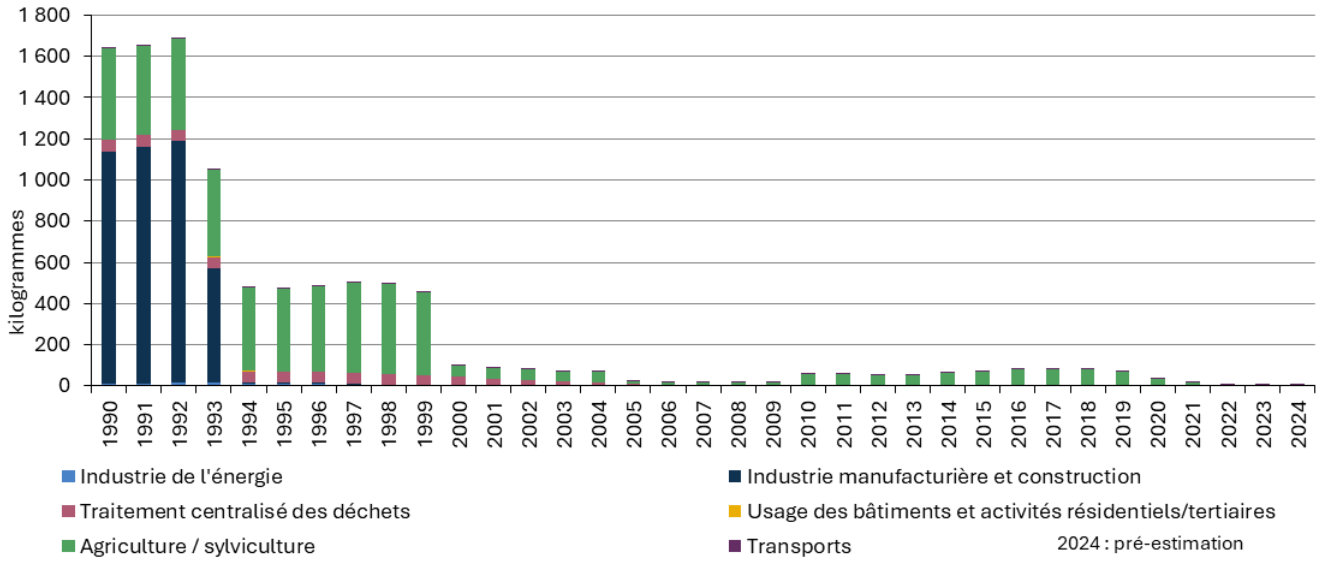
émissions en 2021 du fait du HCB présent à l'état de trace dans certains pesticides et émis lors de l'application de ces produits. Ces émissions font l'objet d'une quantification depuis la soumission de l'inventaire en 2021, à partir des quantités de pesticides vendus en France métropolitaine.

Les émissions d'hexachlorobenzène (HCB) du secteur agriculture/sylviculture sont dues à l'application de certains pesticides. Les données d'activité sont les données de vente de produits phytopharmaceutiques issues de la banque nationale des ventes réalisées par les distributeurs de produits phytopharmaceutiques (dite BNV-D). Ces données ne sont disponibles que depuis 2008, année de création de la base de données dans le cadre du premier plan Ecophyto. La série temporelle 1990-2007 a été reconstituée sur la base d'apports moyens par culture. En France, les produits concernés par des traces de HCB dans leur composition sont le piclorame, le chlorothalonil, le téfluthrine et le chlorthal. Le chlorothalonil fait l'objet d'un enjeu majeur car il représente la quasi-totalité des émissions.

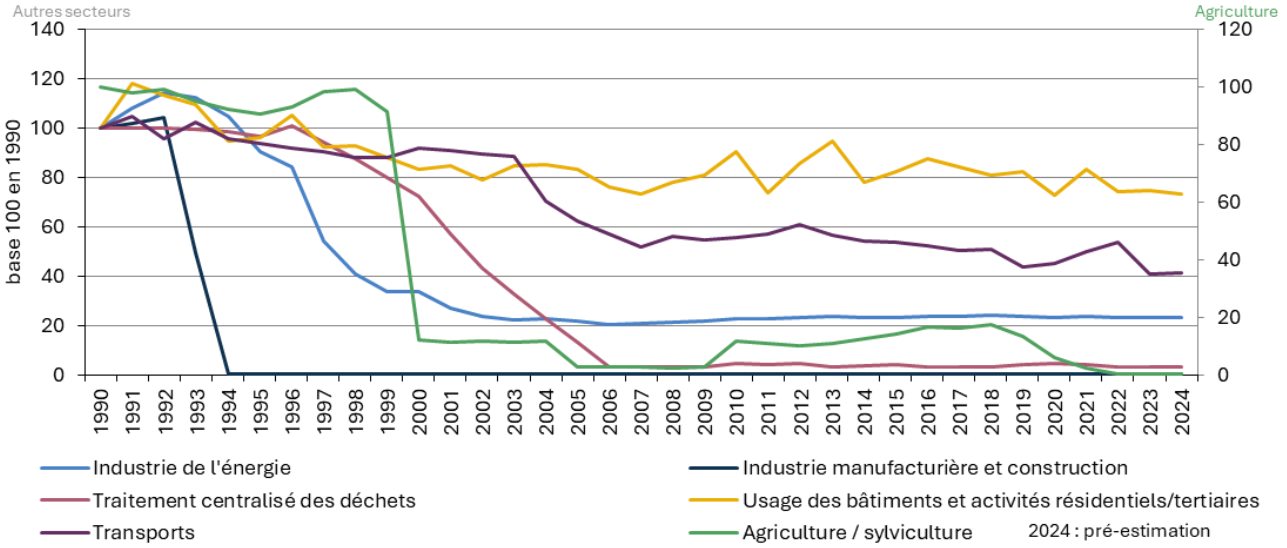
L'approbation européenne du chlorothalonil, qui concentre la totalité des émissions estimées, n'a pas été renouvelée (règlement UE 2019/677 du 29/04/2019). En conséquence, les États Membres ont dû retirer les Autorisations de Mise sur le Marché (AMM) au plus tard le 20 novembre 2019 avec un délai de grâce le plus court possible et au plus tard le 20 mai 2020. Les émissions de HCB en provenance du chlorothalonil reculent donc nettement à partir de l'année 2020 et ont quasiment disparu en 2022. Par conséquent le secteur agriculture/sylviculture ne représentent plus que 6% des émissions nationales en 2023.

Le secteur des déchets contribuait également de façon notable en 2023 avec 27% des émissions totales et en particulier l'incinération des boues de stations d'épuration des eaux usées. La très forte décroissance observée entre 1990 et 2023 (de près de 97%) est liée à l'effet combiné qui fait suite à des progrès réalisés par les incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie (mise en conformité progressive) mais également à la part croissante de l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie. Cette diminution des émissions de ce sous-secteur intervient principalement entre 1996 et 2006.

De façon marginale, la combustion du bois et du charbon est aussi à l'origine d'émission de HCB, ce qui explique les émissions dans le secteur résidentiel/tertiaire avec 13% des émissions.



Evolution des émissions dans l'air de HCB par secteur depuis 1990 en France (Métropole)

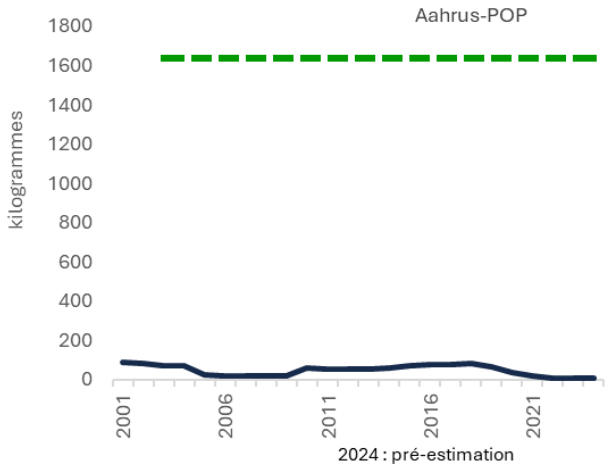


Evolution des émissions dans l'air de HCB en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Atteinte des objectifs

Le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP ») a été adopté le 25 juin 1998 dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontalière longue distance sous l'égide de la Commission Économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU ou UNECE en anglais). Il est entré en vigueur le 23 octobre 2003 et a été amendé en 2009. Il oblige les Parties à réduire leurs émissions de dioxines, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990.

En France, pour les rejets de HCB, le Protocole d'Aarhus (ou « Protocole POP ») se traduit par une obligation à émettre moins de 1 639 kilogrammes par an à partir de 2003. En 2003, les émissions réelles s'élevaient à 72 kg, bien en deçà de cette limite.



Emissions de HCB et objectifs en cours en France

Évolution récente

En 2023, les émissions totales françaises de HCB étaient de 7 kilogrammes, soit une diminution de plus de 99% par rapport aux rejets de l'année 1990.

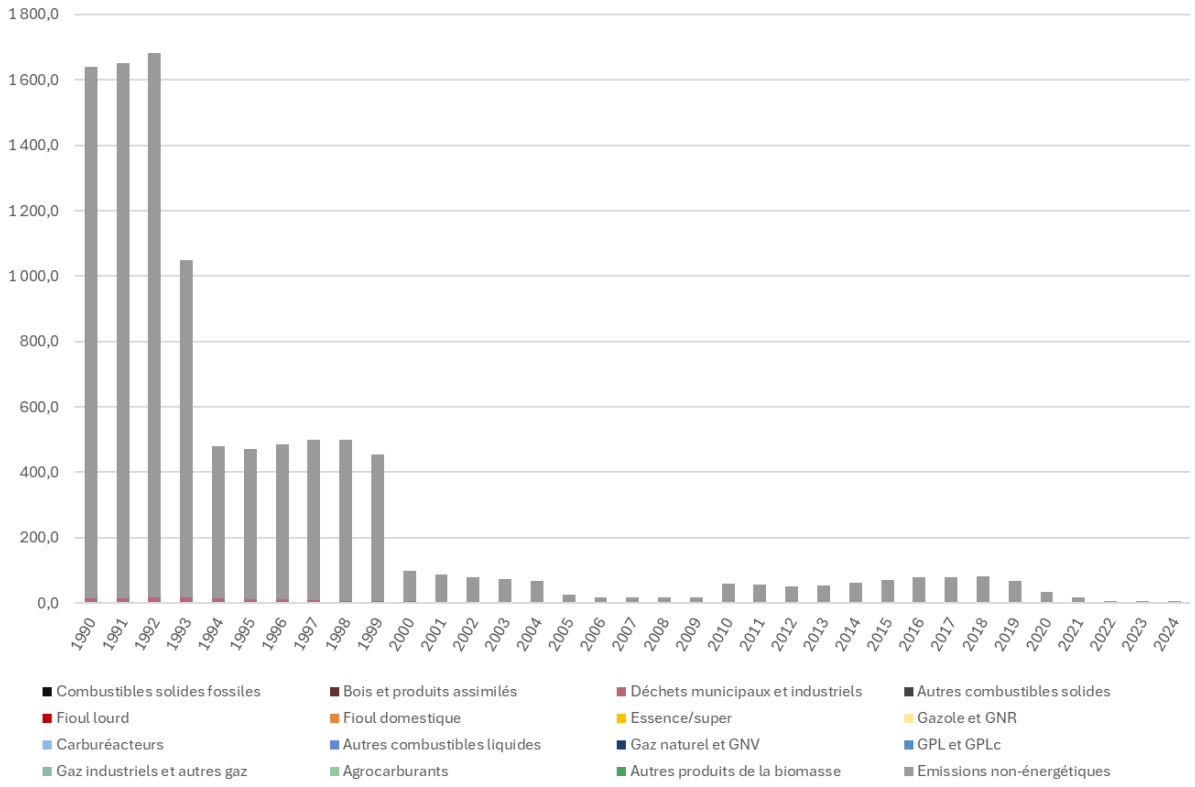
Ces dernières années, les émissions de HCB sont relativement stables et les fluctuations observées sont liées à celles des quantités de boues d'épuration et de déchets incinérés chaque année.

En matière de réglementation, l'approbation européenne du chlorothalonil, qui concentre la grande majorité des émissions estimées, n'a pas été renouvelée (règlement UE 2019/677 du 29/04/2019). En conséquence, les États Membres ont dû retirer les Autorisations de Mise sur le Marché (AMM) au plus tard le 20 novembre 2019 avec un délai de grâce le plus court possible et au plus tard le 20 mai 2020. Les émissions de HCB en provenance du chlorothalonil ont en réponse diminuées dès l'année 2021.

Part des émissions liées aux combustibles

Les émissions non-énergétiques sont prépondérantes sur l'ensemble de la série temporelle. En effet comme il a été mentionné plus haut, la production d'aluminium de seconde fusion au début des années 1990 et l'utilisation de pesticides plus récemment sont les principales sources de rejets.

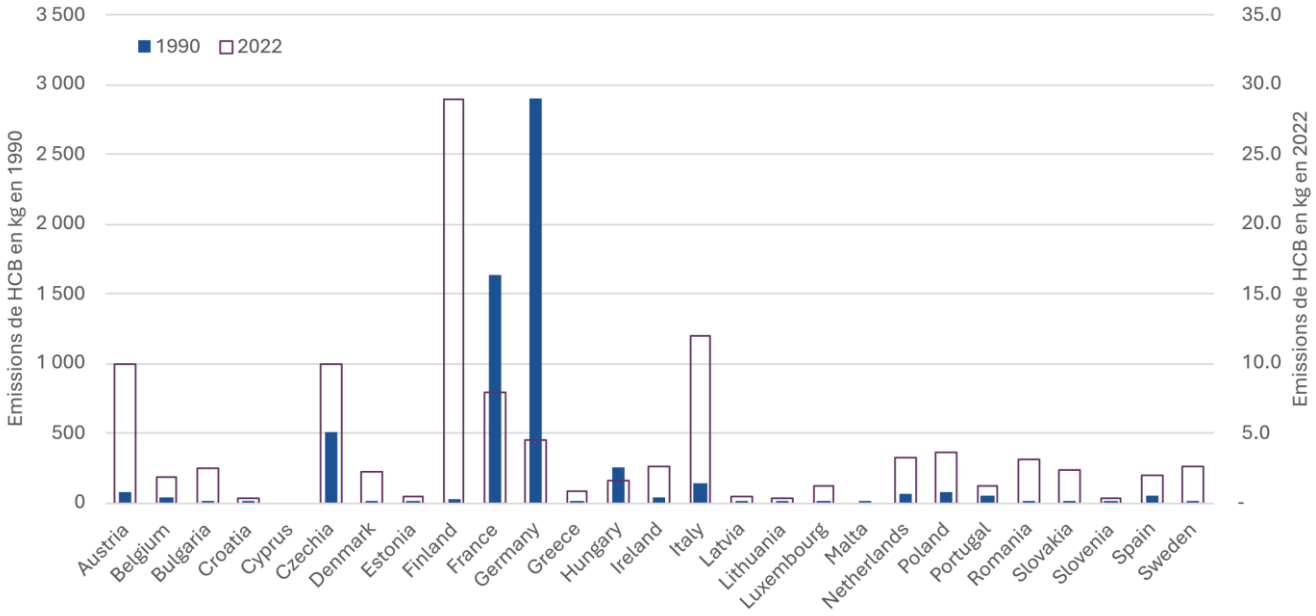
Ainsi en 1990, les émissions non-énergétiques totalisent presque 99% des émissions du territoire. Cette part a globalement diminué au profit des émissions liées à la combustion du bois et des déchets. Entre 1994 et 2019, la part des émissions liées à des procédés fluctue entre 76% et 97%. Cette particularité est multifactorielle. Le premier facteur est la baisse rapide des émissions du secteur des déchets sur cette période en lien avec les progrès réalisés par les incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie et à la part croissante de l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie. Le second facteur est la prise en compte des émissions liées à l'usage des produits phytosanitaires seulement à partir de 2008 (car les données ne sont disponibles qu'à partir de cette année). La combinaison de ces éléments donne une impression de diminution effective exagérée des émissions de 2006 à 2009. En 2022 et 2023, les émissions non énergétiques ne représentent plus que près de 40% des rejets totaux. Ce recul très rapide est lié au retrait du chlorothalonil évoqué plus haut.



Répartition des émissions de HCB par combustible en France (Métropole)

Et ailleurs ?

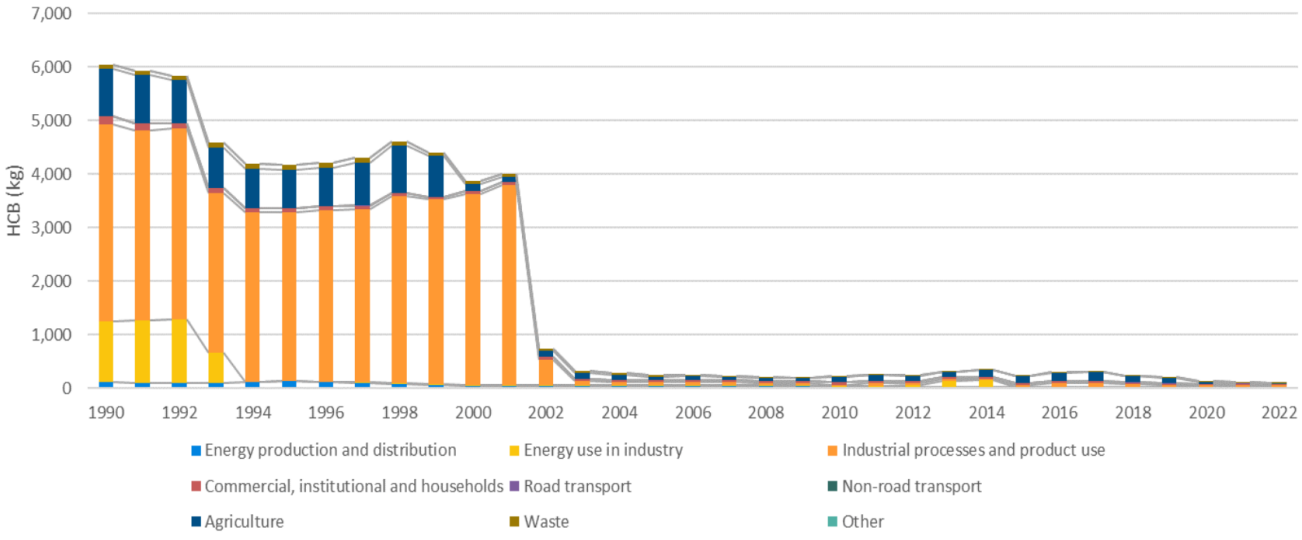
En 1990 les principaux contributeurs aux émissions de l'Union Européenne étaient l'Allemagne (48%), la France (27%) et la République Tchèque (3%). En 2022, la Finlande était le premier émetteur de l'UE (27%) suivi de l'Italie (11%) et de l'Autriche (9%). Ainsi entre 1990 et 2022, les pays ayant le plus réduit leurs émissions sont également ceux qui émettaient le plus en 1990, leurs baisses cumulées représentant 85% de la diminution de l'UE sur cette période.



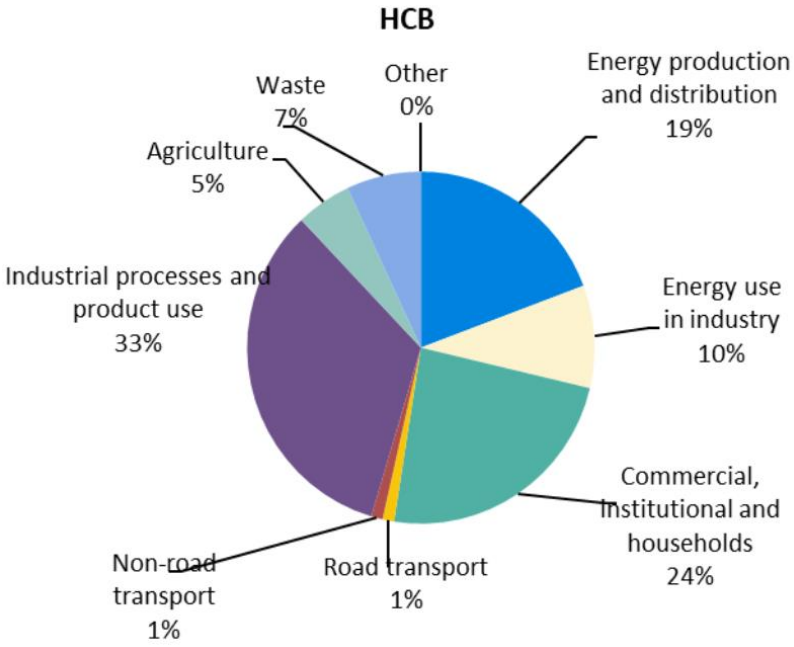
Source : European emission inventory report 1990 - 2022 - European Environement Agency

Evolution des émissions de HCB des pays de l'UE-27 entre 1990 et 2022

Enfin, entre 1990 et 2022, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 98% des rejets de HCB, passant de 6 043 kg à 107 kg. En 2022, les principaux secteurs émetteurs sont ceux de l'industrie manufacturière (33%), du résidentiel/tertiaire (24%) et de l'industrie de l'énergie (19%). La forte baisse des rejets entre 2001 et 2002 provient essentiellement de l'Allemagne. Le pays a expliqué que la plus grande source des émissions de HCB pour les années 1990-1998 était l'utilisation d'hexachloroéthane (HCE) comme agent de dégazage dans la production d'aluminium secondaire. Une réglementation spécifique contrôlant l'utilisation des HCE a réduit les émissions de ce secteur à zéro à partir de à partir de 1999, ce qui s'est traduit par une forte baisse globale des émissions de HCB entre 2001 et 2002 (communication de l'Allemagne).



Emissions de HCB de l'Union Européenne (27) en 2022 - European emission inventory report 1990-2022 - European Environment Agency



Emissions de HCB de l'Union Européenne (27) en 2022 - European emission inventory report 1990-2022 - European Environment Agency

PM | Particules

Aspects généraux

Définition

Les particules atmosphériques sont constituées d'un mélange de différents composés chimiques organiques ou inorganiques et minéraux en suspension dans l'air et sont de différentes tailles. Elles émanent de sources multiples : elles peuvent être émises directement dans l'air et sont alors qualifiées de particules primaires. Elles peuvent être aussi issues de réactions chimiques complexes à partir de gaz précurseurs dans l'atmosphère (combinaison d'ammoniac et d'oxydes d'azote par exemple) et sont alors qualifiées de particules secondaires. Dans l'air ambiant, les particules présentes sont à la fois primaires et secondaires.

Les particules sont différenciées selon leur diamètre :

- les particules totales en suspension (appelées PM pour Particulate Matter ou TSP pour Total Suspended Particles) regroupant l'ensemble des particules en suspension dans l'air, quelle que soit leur taille,
- les PM_{10}, particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 10 µm (microns),
- les $PM_{2,5}$, particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 2,5 µm,
- les $PM_{1,0}$, particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 1,0 µm,
- les particules ultra fines (PUF), particules dont le diamètre est inférieur à 0,1 µm ou 100 nanomètres.

Les particules entre 2,5 et 10 µm sont dénommées particules grossières. Les $PM_{2,5}$ sont qualifiées de particules fines et incluent également les particules ultrafines. Les PM_{10} incluent donc les particules grossières, les particules fines et ultra fines.

Sources d'émissions

Les particules ont différentes origines :

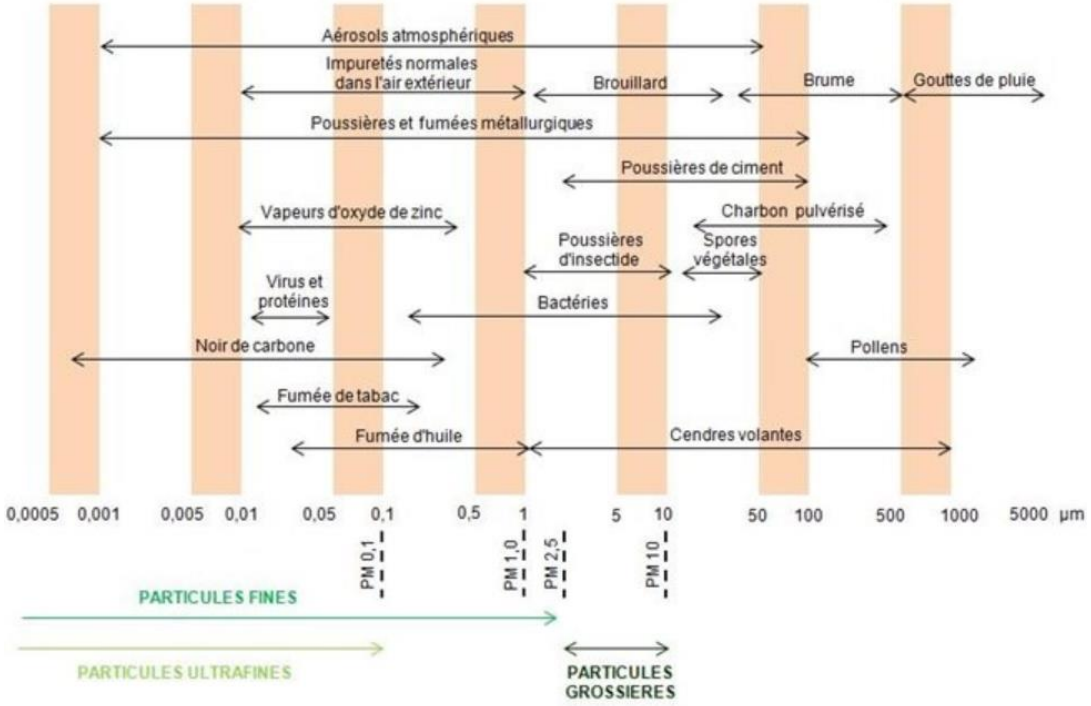
- une origine mécanique : effritement de matière, broyage, concassage, transport de matériaux pulvérulents, érosion des sols (érosion éolienne par exemple), etc. Ces particules sont généralement de taille comprise entre quelques microns et quelques centaines de microns.
- une origine chimique ou thermique. Les particules se forment par changement d'état de la matière, par réactions chimiques entre substances à l'état gazeux, par évaporation à haute température suivie d'une condensation. Le spectre granulométrique de ces particules varie de quelques nanomètres à quelques dixièmes de microns.
- une origine biologique : pollens, champignons, bactéries.

En fonction de la nature des mécanismes de formation mis en jeu, ces derniers peuvent ainsi aboutir à la formation de particules, plus ou moins grossières : par exemple, l'agriculture, par ses travaux de labour et de défrichage ainsi que par l'abrasion des engins, génère des particules grossières visibles sur les champs agricoles et qui se déposent rapidement. Les facteurs influençant les émissions de particules primaires sont liés au passage fréquent d'engins, au vent, à la sécheresse et aux sols nus.

Les particules fines peuvent rester en suspension pendant plusieurs jours, voire quelques semaines et parcourir de très longues distances. C'est pourquoi les stratégies de réduction des émissions doivent considérer des échelles d'actions à plusieurs niveaux : de l'international comme dans le cas de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP), à l'Union Européenne (UE), au national jusqu'au local.

Les sources anthropiques de particules sont multiples : les installations de combustion notamment dans le secteur résidentiel (combustion de bois notamment dans les petits équipements domestiques), le trafic routier, les procédés industriels, les chantiers et le BTP, l'exploitation des carrières et les travaux agricoles (labour, moisson, gestion des résidus). Les particules d'origine naturelle sont liées aux phénomènes d'érosion éolienne, aux embruns marins, aux volcans, etc. L'importance respective de ces sources varie avec la taille des particules.

La figure ci-dessous présente la taille des particules en fonction de diverses sources d'émission



Taille des particules – échelle et ordre de grandeur

Carbone suie et PUF

La composition chimique des particules dans l'air ambiant est très variée. Elles présentent, dans des proportions diverses, une fraction minérale (éléments issus de l'érosion, sables), des composés inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium, issus des réactions chimiques entre gaz précurseurs), des métaux (titane, plomb, zinc, etc.), du carbone suie (émis lors de phénomènes de combustion incomplète), du carbone organique (sous forme d'hydrocarbures, d'esters, d'alcools, de cétones, de polluants organiques persistants, etc.). Le carbone suie (appelé BC pour "Black Carbon" mais aussi « Elemental carbon ») est une composante des particules, issue des processus de combustion incomplète (les suies, dans leur ensemble, sont constituées de carbone suie et de carbone organique). La mesure du carbone suie reste complexe. Le carbone suie absorbe la lumière, ayant un impact non négligeable dans l'effet de serre et est ainsi classé parmi les forceurs climatiques à courte durée de vie (SLCF pour « short-lived climate forcers » en anglais). Il est également reconnu pour avoir des impacts pulmonaires et cardiovasculaires. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérigènes (AEE, 2013). Plus récemment, un avis de l'ANSES (ANSES, 2024) synthétisait les conclusions institutionnelles des effets sanitaires de l'exposition au carbone suie sur la santé à court et long terme.

Si les concentrations de PM_{10} et de $PM_{2,5}$ dans l'air ambiant sont contrôlées depuis de nombreuses années, la mesure du BC est plus récente et celle des PUF n'est pas encore faite systématiquement. Le BC est mesuré dans les particules en air ambiant car il est un marqueur de certaines sources (combustion du bois et moteurs Diesel notamment). L'Anses a recommandé en 2018 (Anses 2018) le suivi, la surveillance et l'acquisition de données pour le BC, actuellement non réglementé dans l'air ambiant, ainsi que sur les PUF. Le carbone suie est mesuré depuis 2011 sur les six sites ruraux nationaux pour lesquels des filtres journaliers sont prélevés un jour sur six. D'autre part, dans le cadre du programme de caractérisation chimique des particules (CARA), un suivi en temps réel et en continu de ce polluant est conduit, ainsi que la différenciation entre ses composantes «combustion d'hydrocarbures» et «combustion de biomasse», sur une trentaine de sites de fond urbain français (SDES, 2021).

Bien que des mesures existent sur le carbone suie et sur les PUF, ces données ne sont pas accessibles en 2025 en données ouvertes sur la plateforme Geod'Air.

Une récente directive européenne (Directive (UE) 2024/2881) adoptée par le parlement et par le conseil européen en 2024 prévoit le suivi des concentrations du carbone suie et des PUF (ainsi que le potentiel oxydant des particules) par des «supersites de surveillance» qui devront être implantés pour suivre à la fois la pollution de fond urbaine et de fond rural. La France dispose jusqu'en 2026 pour transposer cette directive dans son droit national.

Réglementations limitant les émissions

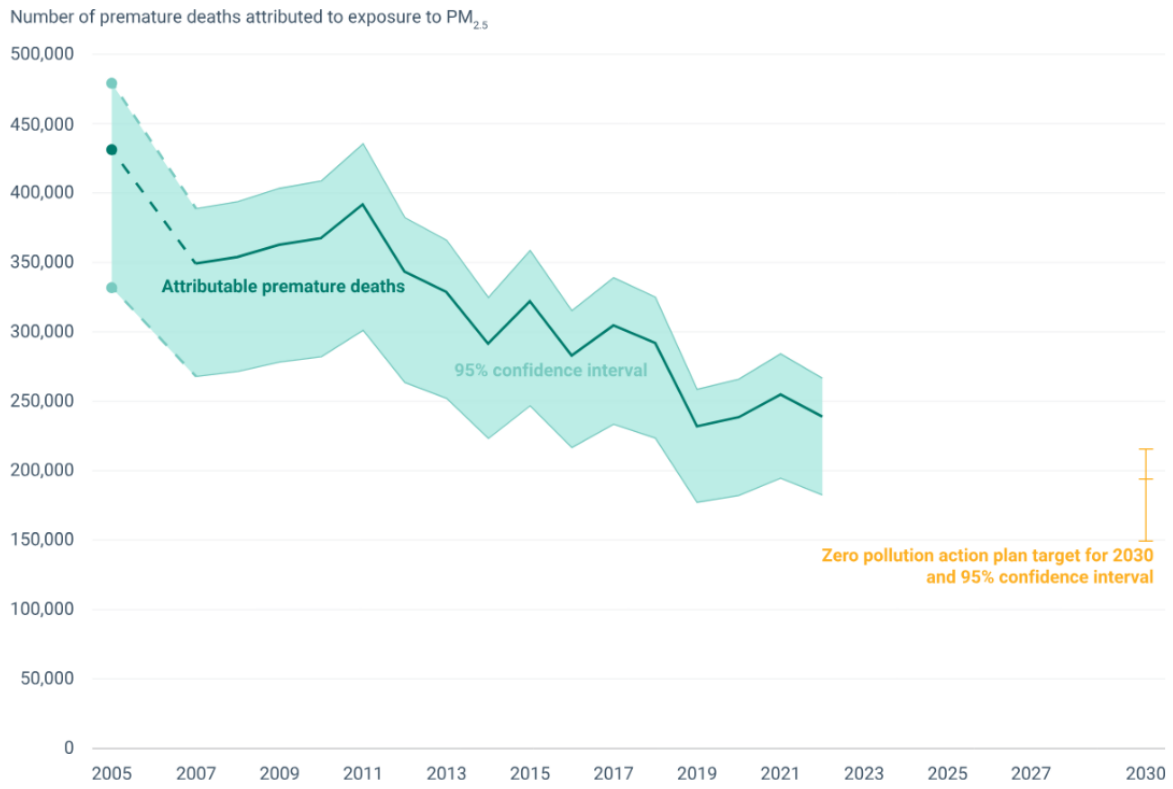
Les particules PM_{10} et $PM_{2,5}$ font l'objet d'une surveillance accrue. Différentes réglementations pour limiter les émissions directes ont été mises en place aux niveaux international (Protocole de Göteborg amendé, de 2012), européen (Directive 2016/2284 réduction des émissions nationales de certains polluants de 2016) et national (plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques de 2017 (PREPA)), et fixent des engagements de réduction d'émissions à respecter en 2020 et 2030. Ces engagements de réduction nationaux sont aussi déclinés au niveau local, dans les plans de protection de l'atmosphère (PPA) et les plans climat, air, énergie territoriaux (PCAET). Un ensemble de textes réglementaires limite les émissions des diverses sources (Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), transports routiers, etc.).

Le Protocole de Göteborg amendé de la Convention Air de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU) a demandé aux Parties à la Convention de prioriser les actions de réduction des émissions de particules qui réduiraient simultanément et significativement les émissions de BC.

Effets sur la santé

Plus les particules sont fines, plus elles sont dangereuses pour la santé car elles peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires et pénétrer dans le sang pour les plus fines d'entre elles, causant asthme, allergies, maladies respiratoires et cardiovasculaires, cancers, etc. Le caractère cancérogène des particules et de la pollution de l'air extérieur dans son ensemble a été reconnu par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC, 2013).

En 2019, l'organisation mondiale de la santé (OMS 2024) estimait à 4,2 millions le nombre de décès prématurés causés dans le monde par la pollution de l'air extérieur dans les zones urbaines et rurales. Cette mortalité est liée à l'exposition aux $PM_{2,5}$. Une autre étude a estimé que les émissions de particules fines liées à la combustion de combustibles fossiles étaient responsables de 8,7 millions de décès prématurés en 2018 dans le monde (Vohra et al. 2021). Dans l'UE (UE-27), le nombre de décès prématurés en 2022, imputé à l'exposition aux $PM_{2,5}$, au NO_2 et à l'ozone (O_3) est estimé respectivement à 239 000, 48 000 et 70 000 selon l'Agence de l'environnement européenne (AEE, 2024). A titre de comparaison, l'exposition aux particules fines est estimée avoir été responsable de près d'un million de décès prématurés en UE au début des années 1990 contre un peu moins de 450 000 en 2005. Les risques liés aux $PM_{2,5}$ sont les plus importants comme ces chiffres le démontrent. L'AEE présente une évolution de la mortalité due à la pollution de l'air due au $PM_{2,5}$ et estime que le risque associé a au moins diminué de 45% en Europe (EU-27) entre 2005 et 2022.



Décès prématurés attribués à une exposition à long terme aux $PM_{2,5}$ au-dessus du niveau recommandé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) de 5 µg/m^3 dans l'UE-27 au cours de la période 2005-2022, et de l'objectif du plan d'action zéro pollution (réduction de 55% des décès prématurés en 2030 par rapport à 2005). AEE 2024

Pour la France, ces décès prématurés sont respectivement estimés à 20 680, 4 960 et 9 030 en 2022 selon la même source (France – air pollution country fact sheet). L'estimation des morts prématurées dues à l'exposition aux particules fines est en net recul comparativement à 2019 où 29 800 morts prématurées avaient été estimées. Dans un communiqué datant du 14 avril 2021, l'agence nationale de santé publique « Santé publique France » évaluait l'exposition aux particules fines responsable de 40 000 décès par an et près de 8 mois d'espérance de vie perdus. Ce communiqué s'inscrit dans un contexte d'actualisation des estimations publiées en 2016 et qui portaient sur la période 2007-2008. Santé publique France a réévalué l'impact que représente la pollution atmosphérique sur la mortalité annuelle en France métropolitaine pour la période 2016-2019. Ainsi l'exposition à la pollution de l'air ambiant représente en moyenne, pour les personnes âgées de 30 ans et plus, une perte d'espérance de vie de près de 8 mois pour les $PM_{2,5}$.

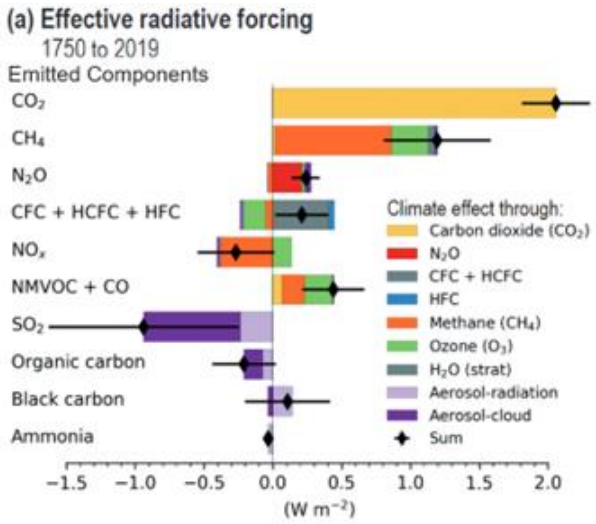
En parallèle, dans le cadre de son programme de surveillance Air et Santé, Santé publique France a évalué les impacts à court et long terme sur la mortalité en France métropolitaine de la diminution de l'exposition à la pollution atmosphérique liée au confinement du printemps 2020. Les résultats de l'évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS) montrent que les bénéfices d'une moindre exposition à la pollution de l'air ambiant durant le premier confinement peuvent être estimés à environ 2 300 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition aux particules et 1 200 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition au dioxyde d'azote (NO_2), liée principalement au trafic routier. Ces résultats montrent qu'une action volontariste sur la réduction des émissions de polluants dans l'air se traduit par une diminution sensible de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé, et la mortalité en particulier.

Effets sur l'environnement

En se déposant, les particules perturbent l'environnement, en particulier par la dégradation physique et chimique des matériaux, et la perturbation des écosystèmes, qu'ils soient proches ou éloignés du lieu d'émission des particules. Accumulées sur les feuilles des végétaux, les particules peuvent les étouffer et entraver la photosynthèse.

Les particules limitent la visibilité. Lors des épisodes de pollution aux particules hivernaux ou printaniers, cette diminution de la visibilité peut être mise en évidence.

Les particules peuvent aussi être impliquées dans le transport et le dépôt de polluants toxiques associés (métaux ou polluants organiques persistants comme les dioxines).



Forçage radiatif des composés (IPCC-AR6-2021)

L'impact des particules sur le changement climatique est plus complexe à caractériser : selon la nature des particules, elles ont un impact direct sur le climat par absorption ou diffusion du rayonnement solaire, mais aussi un effet indirect. Ainsi les composantes organiques et inorganiques diffusent le rayonnement et présentent donc un forçage radiatif négatif (refroidissant) alors que la composante carbone suie absorbe le rayonnement et présente un forçage radiatif positif (réchauffant) (IPCC-AR5-2014).

Les particules jouent un rôle dans la formation des nuages et les précipitations. Les particules auraient un effet refroidissant global mais de grandes incertitudes persistent sur ce point. Le cas du carbone suie, transporté à longue distance, qui se dépose sur les étendues glaciaires et en diminue leur pouvoir réfléchissant (albédo) peut aussi être mentionné. Il contribue à la fonte accélérée des étendues glaciaires (AEE 2013).

Fraction condensable

Depuis l'édition 2019 de l'inventaire national, des spécifications liées aux composés condensables dans les PM ont été introduites. La méthode d'estimation des émissions des particules doit en effet préciser la prise en compte ou non de la fraction condensable dans les facteurs d'émission des $PM_{2,5}$ et PM_{10}.

Les secteurs les plus émetteurs de particules à fraction condensable en France sont les suivants : Résidentiel et tertiaire (combustibles solides, en l'occurrence le bois), Transport, Combustion dans l'industrie (combustibles solides, liquides, gazeux et biomasse).

A l'émission des sources combustion notamment, les particules sont composées de fractions filtrables et condensables. Les particules filtrables sont à l'état solide ou liquide et sont piégées sur un filtre chauffé lors de la mesure de leur concentration. Les particules condensables sont à l'état gazeux dans la cheminée mais se retrouvent ensuite à l'état solide ou liquide dans l'atmosphère, par des phénomènes de refroidissement ou de dilution. Lorsqu'une mesure de concentration en particules est réalisée dans la cheminée, selon les méthodes employées, soit seules les particules filtrables sont détectées (ce qui est le cas avec les moyens de mesures les plus communément employés), soit l'ensemble des filtrables et des condensables le sont ; les méthodes de mesure avec tunnel de dilution par exemple, permettent de mesurer les fractions filtrables et condensables dans leur ensemble. La fraction condensable peut être notamment très élevée dans le cas de combustion incomplète du bois dans les appareils domestiques de chauffage.

Les fractions condensables des PM sont semi volatiles dans la cheminée, elles peuvent être organiques ou inorganiques. On considère généralement que les fractions condensables sont importantes dans les processus de combustion et, en particulier, dans les installations de combustion de petite taille comme le transport et la combustion de bois. Elles peuvent notamment être produites lors de combustions incomplètes, généralement sous forme d'hydrocarbures à longue chaîne ou de composés aromatiques, lors de la production de métaux ferreux sous forme de chlorures de métal, lors de la combustion de biomasse sous forme de chlorure ou encore via la condensation de métaux à l'état gazeux issus de combustions à haute température.

Actuellement, dans l'inventaire français, certains facteurs d'émission utilisés pour estimer les émissions annuelles de $PM_{2,5}$ prennent bien en compte cette fraction condensable : c'est par exemple le cas pour les particules liées à l'échappement des véhicules dans le transport routier et pour la combustion de bois dans les appareils domestiques. En revanche, ce n'est pas le cas pour certains autres secteurs. Des travaux nationaux et internationaux d'amélioration méthodologique sont en cours pour réviser ces facteurs d'émission afin qu'ils intègrent la part condensable, qui peut parfois s'avérer être importante. Ce type de révision pourrait impacter les émissions de $PM_{2,5}$ et PM_{10} de certains secteurs à la hausse, sur l'ensemble des années inventoriées.

TSP | Particules totales en suspension

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Les particules totales en suspension sont constituées d'un mélange de différents composés chimiques et regroupent toutes les particules, quelles que soient leurs tailles et leurs sources.

Composition chimique
La composition des TSP dépend de leur origine et des mécanismes de formation : elle peut associer le carbone suie (combustion incomplète), une fraction minérale (érosion, sables), des composés inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium, issus de réactions chimiques entre gaz précurseurs), des métaux (plomb, zinc, etc.) et du carbone organique. Les proportions de ces composantes chimiques évoluent avec la taille des particules.

Origine
Phénomènes naturels (érosion éolienne, embruns marins) ou anthropiques (combustion, industrie, chantiers, transport et agriculture).

Phénomènes associés
Particules primaires issues de rejets directs dans l'air.

Particules secondaires issues de réactions chimiques entre gaz précurseurs (prises en compte dans les inventaires seulement pour certaines sources comme le transport).

Effets

Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

Santé

Enjeux

Enjeux sanitaires et environnementaux

Effets sur la santé

Plus les particules sont fines, plus elles représentent un risque sanitaire car elles peuvent pénétrer plus facilement dans le système respiratoire et le sang. L'inclusion des particules de toute taille dans les TSP en fait donc un polluant d'intérêt majeur sur l'impact sanitaire éventuel qu'il peut représenter, toutefois les enjeux portent plus sur les particules fines ou ultrafines pour leur impact plus prépondérant sur la santé.

Effets environnementaux

Concernant l'impact sur l'environnement, beaucoup de phénomènes distincts peuvent être considérés, à diverses échelles, et pour toutes tailles de particules : voir la partie générale en début de chapitre.

Objectifs de réduction

Les objectifs de réduction des émissions/concentrations de particules à l'échelle internationale, nationale et même locale concernent plutôt les PM_{10} et $PM_{2,5}$ (cf. partie ci-dessus sur réglementations). Ainsi, les émissions de TSP ne présentent pas un intérêt aussi prononcé que celles d'autres tailles de particules a priori, mais puisque les TSP englobent les particules de toutes tailles, leurs émissions sont amenées à être également réduites

Enjeux méthodologiques

De nombreux enjeux méthodologiques existent sur la quantification de la part condensable des émissions de particules dans plusieurs secteurs de l'inventaire. La taille des particules condensables variant de quelques nanomètres à quelques microns, la prise en compte de la part condensable des émissions impactera toutes les tailles de particules.

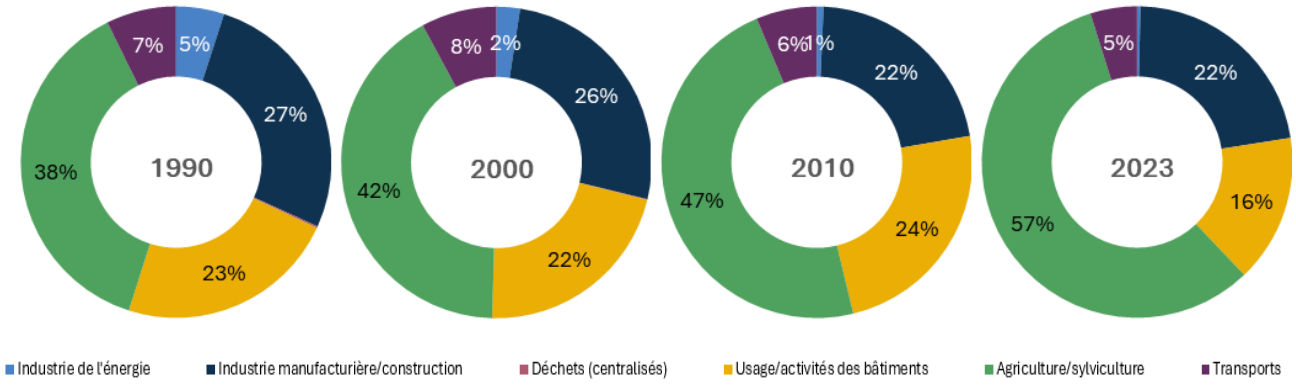
Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant, tous secteurs confondus, à 160% en 2023.

Par ailleurs, dans l'inventaire national, la part des particules condensables est complexe à estimer dans de nombreux secteurs et n'est pas prise en compte pour l'ensemble des sources émettrices. De plus, il est complexe de quantifier les recombinaisons qui peuvent se produire dans l'atmosphère et qui sont à l'origine de la formation des particules dites secondaires. Ce type de particules n'est pas inclus dans les inventaires d'émissions nationales de TSP.

Emissions hors totales

Il est important de noter que, dans l'inventaire national, certaines émissions de particules sont estimées mais ne sont pas incluses dans le périmètre national. Parmi elles, les émissions anthropiques du transport international aérien, fluvial ou maritime en font partie, ainsi que les émissions naturelles liées aux feux de forêts. D'autres émissions naturelles de particules issues des volcans, de la foudre, de la végétation et autres, ne sont pas estimées dans l'inventaire français et ne font pas partie du périmètre d'inclusion national.

Principaux secteurs émetteurs



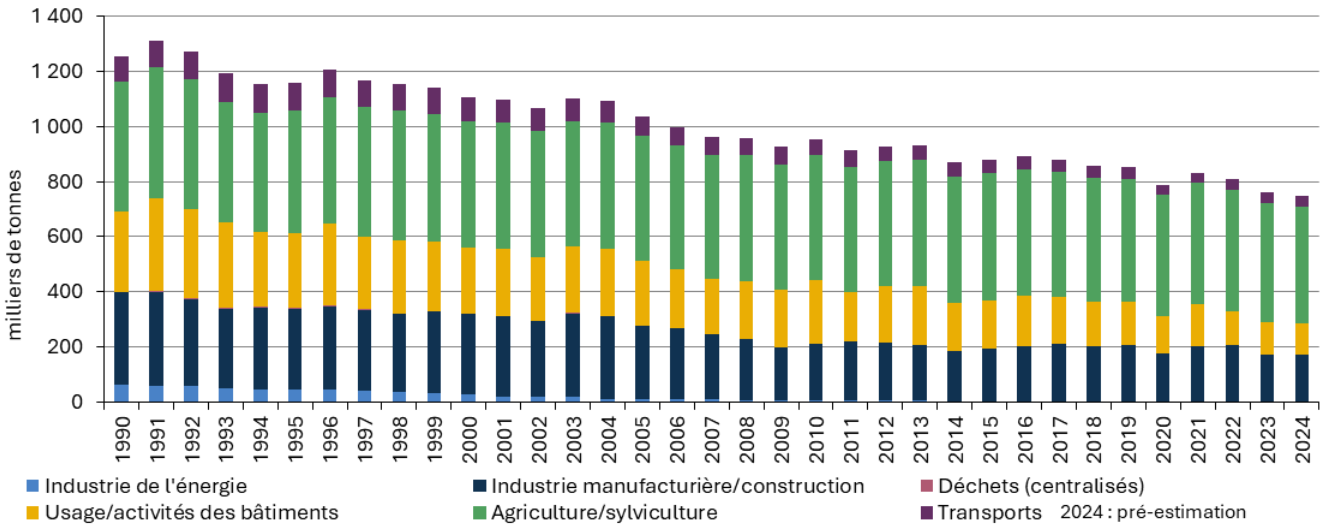
Répartition des émissions de TSP en France (Métropole)

Tendance générale

Entre 1990 et 2023, les émissions de TSP ont diminué de 39% tous secteurs confondus, passant de 1 255 kt émises en 1990 à 760 kt en 2023. Les pré-estimations pour l'année 2024 prévoient une poursuite de la baisse avec environ 748 kt de TSP émises en France métropolitaine.

A noter que, depuis l'année 2014, le secteur de l'agriculture/sylviculture représente plus de la moitié des émissions nationales de TSP, et sa contribution (en pourcentage du total) continue d'augmenter, atteignant 57% en 2023.

Le niveau des émissions de particules totales en suspension (TSP) est globalement en baisse depuis 1990. Tous les secteurs d'activité contribuent aux émissions de TSP. Les principaux secteurs émetteurs au cours de la période sont l'agriculture/sylviculture, notamment du fait des labours des cultures ; l'industrie manufacturière, notamment du fait des activités du BTP et de la construction (chantiers), ainsi que l'extraction de roches dans les carrières ; et le résidentiel, notamment du fait de la combustion de bois dans les équipements de chauffage domestiques. Pour les autres secteurs (hors transport et engins mobiles non routiers), les émissions de particules proviennent principalement de la combustion de la biomasse.



Evolution des émissions dans l'air de TSP depuis 1990 en France (Métropole)

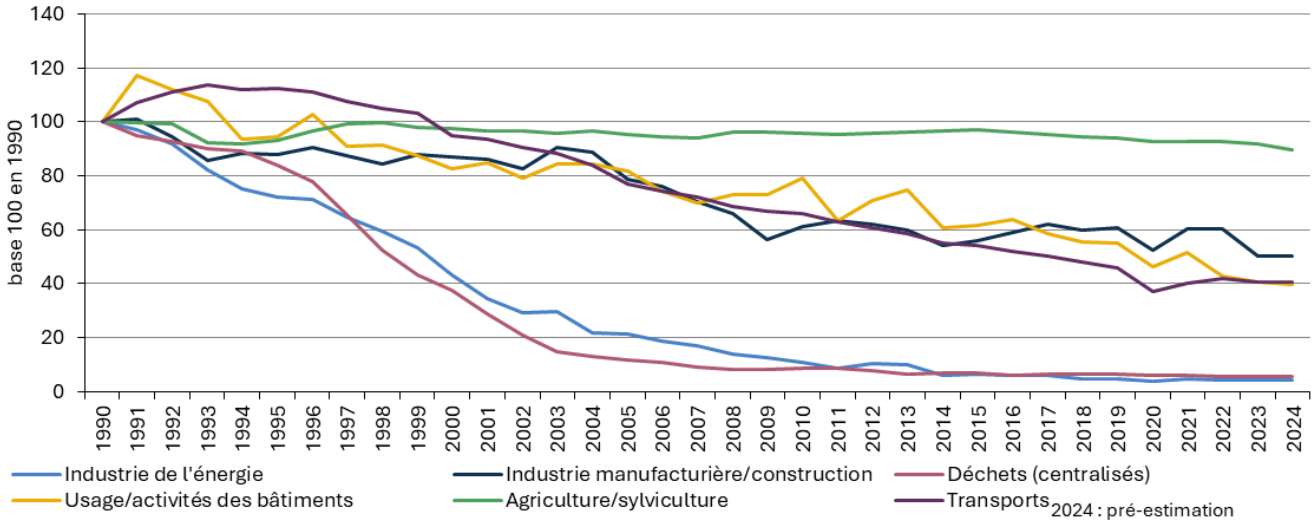
Tous les secteurs ont contribué à la diminution continue observée, néanmoins l'agriculture/sylviculture est plutôt en stagnation comparativement aux autres secteurs.

L'année 1991 constitue une année exceptionnelle (niveau maximal observé sur la période étudiée) du fait, en particulier, d'une forte consommation de bois dans le secteur résidentiel/tertiaire. Dans le cas des émissions du secteur de l'industrie manufacturière, les émissions sont principalement générées par le sous-secteur de la construction avec notamment les carrières et les chantiers du BTP. Les émissions du secteur résidentiel/tertiaire ont été fortement réduites (-59,5%) sur la période 1990-2023, notamment grâce au renouvellement des équipements individuels brûlant du bois et à l'amélioration de leurs performances énergétiques et environnementales. Le secteur de l'industrie manufacturière et de la construction contribue également fortement à la baisse totale observée entre 1990-2023 avec une réduction de 50% sur cette période.

Dans le cas des transports, les émissions proviennent, d'une part, de l'échappement (combustion des carburants) et, d'autre part, de l'usure des routes mais aussi des pneus, des freins, et des caténaires pour le trafic ferroviaire. Pour le transport routier, les émissions liées à l'abrasion évoluent avec le niveau de trafic depuis 1990 (en légère augmentation) alors que les émissions liées à l'échappement sont en régression depuis 1994, à la suite de la mise en œuvre des différentes normes relatives aux véhicules routiers.

Dans le secteur de la transformation d'énergie, les émissions ont connu une très forte baisse (-96% depuis 1990) et sont désormais très marginales.

Les activités majoritairement contributrices à ces émissions sont la production centralisée de chaleur (avec un niveau ces dernières années semblable à celui de 1990 suite au développement accru de la biomasse), suivi de la transformation des combustibles minéraux solides (en diminution du fait de l'arrêt de l'exploitation et de la transformation du charbon minier ainsi que la réduction des émissions des cokeries sidérurgiques), du raffinage de pétrole (en diminution depuis 1990 du fait de la réduction de l'activité mais des réglementations sur les émissions aussi) et de la production d'électricité (en diminution du fait de la fermeture des centrales à charbon). La forte baisse observée depuis 1990 pour le secteur de la transformation de combustibles minéraux solides s'explique en grande partie par l'arrêt de l'exploitation des mines à ciel ouvert en 2002 et des mines souterraines en 2004. L'autre raison principale de cette réduction est l'optimisation des procédés conjointement à la mise en place de technologies de réduction.



Evolution des émissions dans l'air de TSP en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

Lors des dernières années, la tendance générale révèle une baisse continue des émissions totales de TSP qui, bien que plus lente, suit la tendance historique observée depuis 1990. En effet, les émissions de TSP de certains secteurs comme le transport routier ou le résidentiel/tertiaire suivent une trajectoire de baisse continue. Cependant, les émissions des autres secteurs ont plutôt tendance à stagner ces dernières années, parfois dues à des progrès conséquents déjà réalisés depuis 1990 comme dans les secteurs de la transformation d'énergie et du traitement des déchets. Les creux d'émissions observés s'expliquent généralement par des phénomènes temporaires : crise économique en 2009, douceur du climat en 2011 et 2014 (moindre recours au chauffage et donc à la combustion) et crise sanitaire et douceur du climat également en 2020. En effet, un recul des émissions nationales de TSP de 8% est observé entre 2019 et 2020 en fort lien avec la crise sanitaire, avec une contribution de tous les secteurs. En particulier, les secteurs du transport, de l'usage des bâtiments résidentiels/tertiaires et de l'industrie manufacturière et de la construction ont connu les plus fortes réductions d'émissions avec respectivement -19%, -16% et -13% entre 2019 et 2020. En revanche, le secteur de l'agriculture et de la sylviculture a connu une plus faible réduction des émissions de TSP avec -1% entre 2019 et 2020.

En 2021, un effet rebond est observé sur les émissions nationales de TSP avec une hausse de 6% par rapport à 2020, qui demeurent toutefois inférieures de 3% au niveau de 2019. Ceci est principalement dû à une reprise de certaines activités comme le transport (+8% d'émissions entre 2020 et 2021) ou l'industrie manufacturière (+14% d'émissions entre 2020 et 2021) après la crise sanitaire. De plus, la rigueur de l'hiver en 2021, qui a été le plus froid observé depuis 2016, a contribué aux augmentations observées pour le sous-secteur du chauffage résidentiel (+11% d'émissions entre 2020 et 2021) ainsi que le chauffage urbain (+34% d'émissions entre 2020 et 2021).

La baisse se poursuit en 2022 puis 2023 avec une réduction de 8% en deux ans par rapport au niveau de 2021 : celle-ci provient essentiellement des secteurs de l'industrie manufacturière et de la construction avec -17% (-33 kt) et du secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires avec -22% (-32 kt).

Pour l'année 2024, les pré-estimations d'émissions aboutissent à une baisse minime de 1,7% des émissions par rapport à l'année 2023.

Durant les dernières années, les particules totales en suspension ont été une source croissante d'attention, notamment parce qu'elles englobent les particules fines qui présentent des enjeux pour la santé humaine. Pour cette raison, de nouvelles réductions et une poursuite de la baisse actuelle des émissions sont attendues pour les prochaines années. Pour y parvenir, différentes actions ont été mises en place, parmi lesquelles : des règlementations avec des valeurs limites d'émission notamment pour les installations de combustion ou les engins mobiles non routiers ; et des zones de circulation alternée. De plus, de nouveaux progrès sont réalisés régulièrement sur l'efficacité et l'optimisation des procédés industriels et des équipements de combustion, et plusieurs technologies de réduction existent également pour filtrer les particules lors de l'échappement des fumées de combustion.

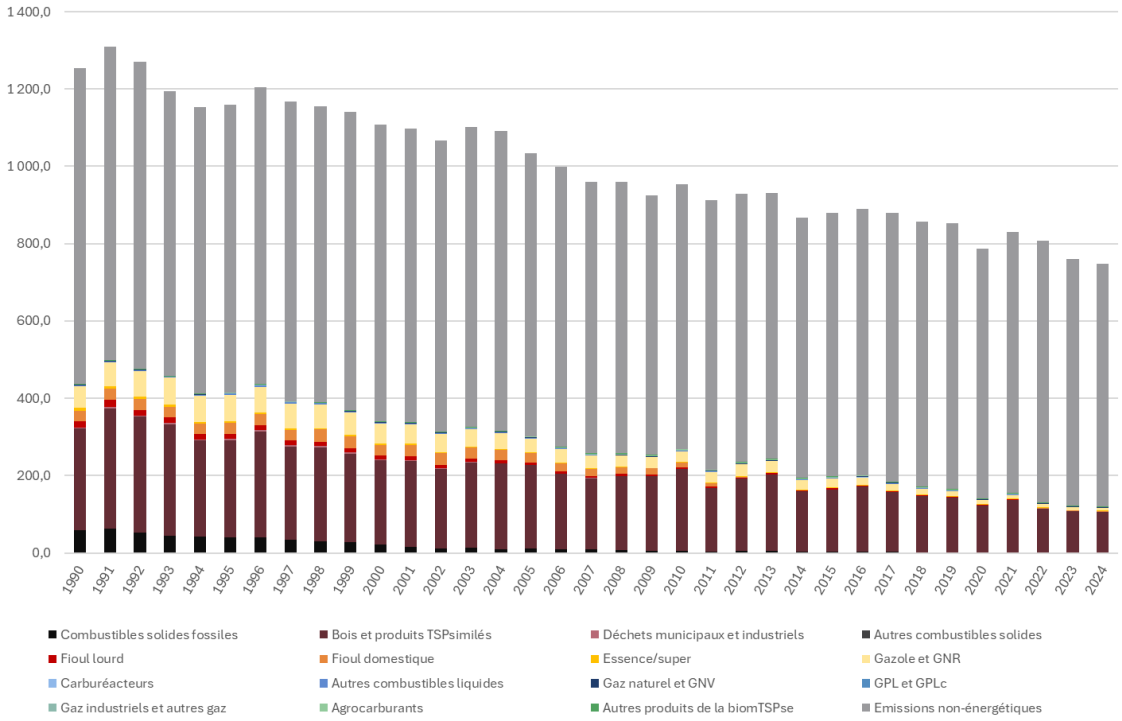
Enfin, il est important de suivre avec attention les évolutions des émissions de TSP dans les prochaines

années du fait du développement de la combustion de la biomasse, qui est plus émettrice de particules que les combustibles qu'elle substitue généralement (fioul, gaz naturel). En effet, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, les politiques publiques soutiennent un accroissement de la biomasse dans le mix énergétique. Cependant, cette problématique étant bien connue, des VLE strictes sont imposées aux installations d'une puissance supérieure ou égale à 1 MW via la directive MCP (pour « Medium Combustion Plant » en anglais), mais également aux petites installations (i.e., d'une puissance inférieure à 1 MW) via la directive européenne 2009/125/CE et ses règlements 2015/1185 et 2015/1189. Pour le chauffage résidentiel, l'installation d'appareils au bois plus performants et la mise en place de normes règlementaires sont promues et soutenues aux niveaux européen (Directive Ecodesign), national et régional (aides et crédit d'impôt). Ainsi, à partir de 2022, les équipements individuels de chauffage décentralisé au bois mis sur le marché, doivent respecter les limites d'émissions de particules imposées par le règlement 2015/1185. Ce contexte devrait ainsi permettre de limiter l'éventuelle hausse des émissions de particules.

Part des émissions liées aux combustibles

La contribution de la combustion de combustibles aux émissions totales est importante mais reste relativement faible comparativement aux émissions dites « non-énergétiques » de l'agriculture, de la construction et du BTP et autres secteurs concernés, et ne représente en 2023 qu'environ 16% des émissions totales. Cependant, il peut être observé dans la figure ci-dessous que la contribution des combustibles fut bien supérieure au début de la période considérée (environ 35% en 1990).

Parmi les combustibles, la consommation de bois est et a toujours été le principal émetteur de TSP représentant 60% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 87% en 2023. La part grandissante du bois domestique dans les émissions, alors même que ses émissions propres ont diminué de 59%, est due notamment à la substitution progressive des combustibles solides fossiles, à l'introduction en 2011 de filtres à particules sur les véhicules diesel et à l'introduction de normes sur les engins mobiles non routiers tels que les tracteurs.



Répartition des émissions de TSP par combustible en France (Métropole)

Émissions du bois-énergie résidentiel

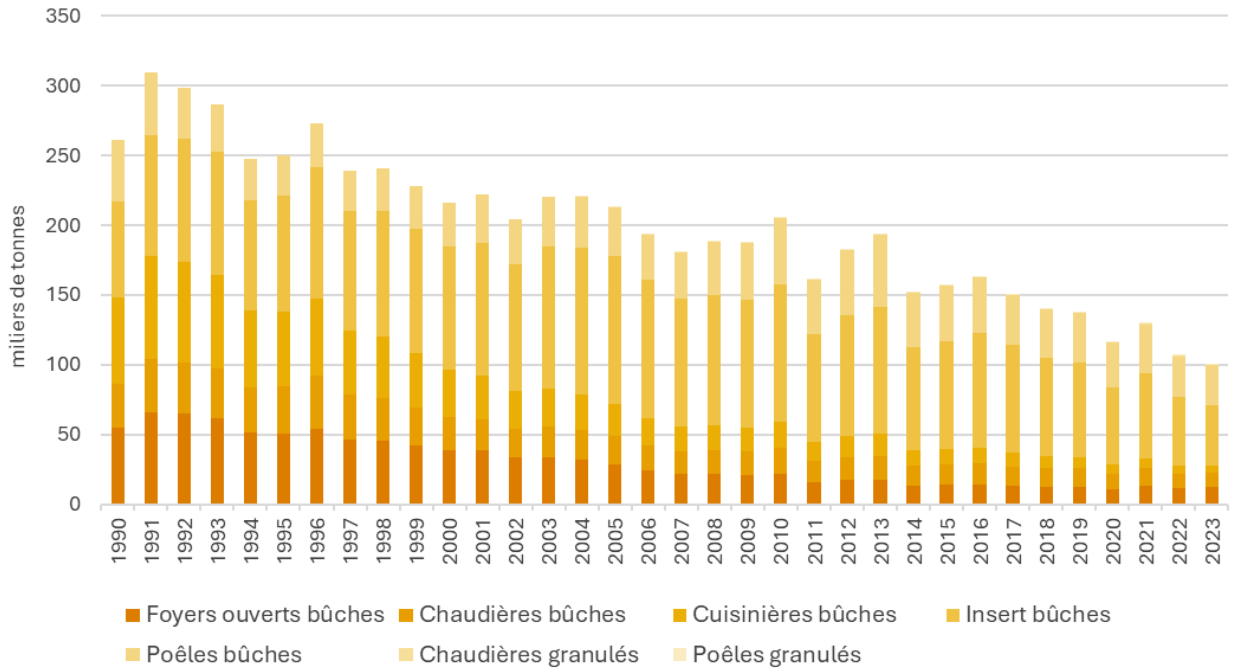
Quasiment entièrement dues au bois-énergie domestique sur toute la période 1990-2023, les émissions de particules des applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique représentent la quasi-totalité de ces émissions pour le secteur résidentiel-tertiaire et une partie importante des émissions nationales de particules : le bois-énergie résidentiel représentait 21% des émissions nationales de TSP en 1990 et 13% en 2023.

Emissions de TSP (kt/an) Périmètre : Métropole	**1990**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Chaudières bûches	31,4	33,8	24,1	20,0	19,1	14,4	15,1	13,9	13,1	13,1	11,2	12,6	10,2	9,9
Cuisinières bûches	62,4	53,0	33,9	22,9	18,1	11,3	11,1	9,7	8,7	8,2	6,6	7,3	5,8	5,3
Insert bûches	69,0	83,4	88,0	106,1	98,6	77,1	82,0	77,4	70,7	67,5	55,0	61,0	48,9	43,7
Poêles bûches	43,6	28,9	31,5	35,0	47,8	40,0	40,2	35,4	34,9	36,2	32,2	35,0	29,3	28,4
Foyers ouverts bûches	54,4	50,9	38,7	28,6	21,6	13,9	14,3	13,1	12,4	12,5	10,8	13,3	11,9	12,3
sous-total bûches	**260,8**	**250,0**	**216,1**	**212,6**	**205,2**	**156,6**	**162,7**	**149,6**	**139,9**	**137,5**	**115,8**	**129,1**	**106,1**	**99,6**
Chaudières granulés	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Poêles granulés	-	-	-	0,0	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
sous-total granulés	**-**	**-**	**-**	**0,0**	**0,2**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,8**	**0,8**	**1,0**	**1,0**
Total Bois résidentiel	***260,8***	***250,0***	***216,1***	***212,7***	***205,4***	***157,0***	***163,2***	***150,2***	***140,6***	***138,2***	***116,6***	***129,9***	***107,1***	***100,6***
Total - Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique	**267,1**	**253,6**	**218,7**	**214,8**	**207,2**	**158,2**	**164,4**	**151,3**	**141,6**	**139,2**	**117,5**	**130,9**	**107,9**	**101,3**
dont bois résidentiel (%)	***98%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***

Evolution des émissions de TSP du bois-énergie, par typologie d'appareil, dans le secteur résidentiel en France (Métropole)(en kt)

Depuis 1990, les émissions de particules totales de ce secteur ont fortement baissé en lien avec l'amélioration des performances des équipements fonctionnant au bois dans ce secteur et la baisse d'utilisation des foyers ouverts, fortement émissifs. Comme pour les autres polluants, les fortes variations interannuelles observées peuvent-être directement reliées aux variations de l'indice de rigueur climatique en France métropolitaine.

Depuis 2004, l'usage croissant des granulés de bois utilisés principalement dans poêles à granulés, contribue également à la baisse observée se substituant en partie à des appareils plus émissifs. Elle s'explique également par la mise en place progressive de labels (différentes classes du label « Flamme verte ») certifiant un certain niveau de performance (sur le rendement énergétique et sur les niveaux d'émission de certains polluants dont les particules) des appareils à bûches accompagné d'améliorations technologiques qui réduisent progressivement le niveau des émissions de particules (introduction d'air secondaire dans la chambre de combustion, meilleure étanchéité, préchauffage de l'air secondaire, ...).



Répartition des émissions de TSP du bois-énergie par typologie d'appareil dans le secteur résidentiel en France (Métropole)

Au sein du bois-énergie résidentiel et en 2023, les émissions de TSP proviennent principalement des inserts bûches (à 43%), des poêles à bûches (à 28%) mais également encore des foyers ouverts à hauteur de 12%. Le recours aux cuisinières bûches a fortement diminué depuis 1990 : celles-ci représentaient alors 24% des émissions de TSP contre seulement 5% en 2023.

PM_{10} | Particules grossières et fines

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm (microns). Elles sont constituées d'un mélange de différents composés chimiques et regroupent les particules grossières (entre 2,5 et 10 µg/m3) et les particules fines. En moyenne dans l'air ambiant, les PM_{10} sont composées majoritairement (à 70%) de $PM_{2,5}$. (AIRPARIF).

Composition chimique
La composition chimique dépend de leur origine et des mécanismes de formation : elle peut associer le carbone suie (émis lors de phénomènes de combustion incomplète), une fraction minérale (éléments issus de l'érosion, sables), des composés inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium, issus de réactions chimiques entre gaz précurseurs), des métaux (plomb, zinc, etc.) et du carbone organique. Les proportions de ces composantes chimiques évoluent avec la taille des particules. Les particules les plus fines sont plutôt associées aux composés secondaires.

Origine
Phénomènes naturels (érosion éolienne, embruns marins par exemple) ou anthropiques (combustion, industrie, chantiers, transport et agriculture).

Phénomènes associés
Particules primaires issues de rejets directs dans l'air. Particules secondaires issues d'une réaction chimique : par exemple, lors de la combinaison entre l'ammoniac (NH_3) et des oxydes d'azote.

Effets

Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

Santé

Enjeux

Enjeux environnementaux et sanitaires

Effets sur la santé

L'impact des particules sur la santé est désormais indéniable et plus les particules sont fines, plus elles représentent un risque sanitaire car elles peuvent pénétrer plus facilement dans le système respiratoire ou bien le sang. La plupart des enjeux sanitaires sont orientés vers la part des particules dites « fines » comme les $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$ ou les particules ultrafines, qui font partie inhérente des PM_{10}.

Effets environnementaux

En ce qui concerne l'impact que peuvent avoir les PM_{10} sur l'environnement, beaucoup de phénomènes distincts peuvent être considérés, à diverses échelles, et pour toutes tailles de particules. De ce fait, il est conseillé de se référer à la partie générale sur les effets sur l'environnement en début de chapitre pour en connaître davantage sur les enjeux environnementaux liés aux particules.

Objectifs de réduction

Les objectifs de réduction des particules à l'échelle internationale, nationale et même locale concernent principalement les émissions et les concentrations de PM_{10} et $PM_{2,5}$ (cf. partie ci-dessus sur réglementations) avec notamment le Protocole de Göteborg amendé, la directive 2016/2284 sur la réduction des émissions nationales de certains polluants (i.e., NEC-2 (*national emission ceiling*)) puis, en France, par le PREPA adopté en 2017.

En ce qui concerne les émissions de PM_{10}, il n'y a pas d'objectif de réduction chiffré pour 2020 et 2030 mais plutôt des valeurs limites d'émissions imposées pour certains secteurs émetteurs comme l'incinération de déchets, le transport routier ou bien pour les installations IED. En revanche, en termes de qualité de l'air, les concentrations de PM_{10} sont mesurées sur l'ensemble du territoire afin de contrôler que les concentrations moyennes journalières et annuelles ne dépassent pas les valeurs limites de concentrations imposées par la directive européenne 2008/50/CE (par exemple, pas plus de 35 jours par an en ce qui concerne la concentration moyenne quotidienne).

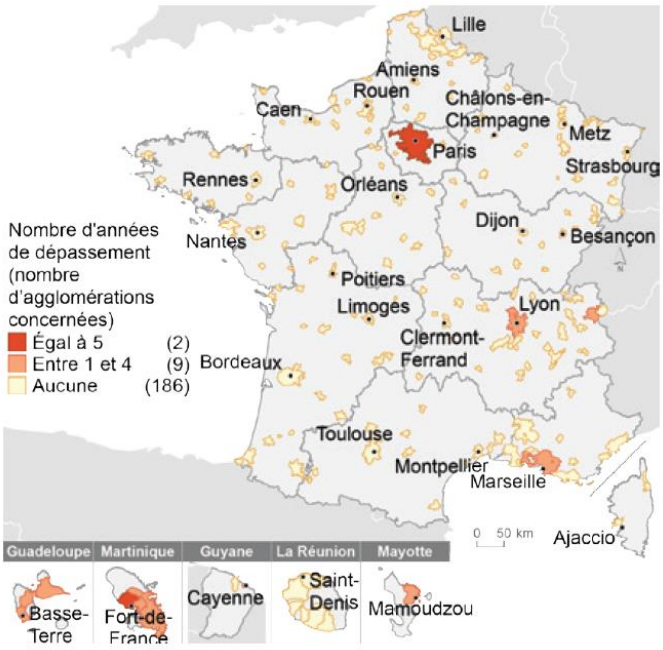
En octobre 2020, la Commission Européenne a saisi la Cour de Justice de l'UE (CJUE) d'un recours contre la France relatif à la mauvaise qualité de l'air suite à des dépassements de la valeur limite de concentration (VLC)

de PM_{10}, fixée par la directive 2008/50/CE, en région parisienne et Martinique, et au manquement de prise de mesures appropriées pour réduire les périodes de dépassement. De plus, en août 2021, le Conseil d'État a condamné l'État à payer une amende de 10 M€ pour le premier semestre 2021 à cause de mesures insuffisantes pour améliorer la qualité de l'air et le dépassement des VLC de PM_{10} et NO_2 à Paris suite aux divers avertissements. De plus, en avril 2022, la Cour de justice de l'UE (CJUE) a également condamnée la France pour non-respect de la directive 2008/50/CE relative à la qualité de l'air ambiant, et notamment pour « dépassement de manière systématique et persistante » de la VLC PM_{10}. En avril 2025, le conseil d'État a considéré qu'il n'y avait pas lieu de prononcer une nouvelle astreinte financière au regard des mesures déjà prises et de l'amélioration de la qualité de l'air constatée.

La Bulgarie, la Pologne et l'Italie avaient déjà été condamnés par la CJUE auparavant à ce même sujet. D'après l'AEE, en 2022, 9% de la population urbaine de l'UE est exposée à des concentrations excédant les valeurs standards de l'UE, tandis que 83% est exposée à des valeurs dépassant les valeurs guides de l'OMS (AEE 2024, bis). En complément, 23 Etats membres de l'UE ont rapporté en 2022 des dépassements des concentrations journalières limites de l'UE qui est à 50 $\mu g/m^3$, dont la France, bien que sa valeur médiane sur l'année soit bien inférieure à cette valeur (28 $\mu g/m^3$). D'après le bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2023 (SDES 2024), une seule agglomération métropolitaine (Marseille – Aix-en-Provence) est concernée par des dépassements des seuils règlementaires fixés pour les PM_{10}. En outre-mer, seule Mamoudzou à Mayotte a été concernée en 2023.

La carte ci-dessous résume le nombre d'années de dépassement des seuils réglementaires fixés, par agglomération, sur la période 2015-2023 (SDES 2024).

Carte 3b : PM_{10} (période 2015-2023)



Nombre d'années de dépassement des seuils réglementaires fixé pour la protection de la santé par agglomération, sur la période 2015-2023, pour les PM_{10} (SDES 2024)

Une directive européenne adoptée en avril 2024 (Directive (EU) 2024/288) fixe des objectifs plus stricts à atteindre d'ici 2030 pour les concentrations en PM_{10}, l'objectif étant de s'aligner davantage sur les valeurs guide de l'OMS.

Polluant	Périodicité	Type de norme	Norme en vigueur		Norme révisée adoptée pour 2030	Dépassements autorisés	Valeurs guides de l'OMS (2021)
PM_{10}	Annuelle	Valeur limite	40 $\mu g/m^3$	↘	20 µg/m3	-	15 µg/m3
	24h	Valeur limite	50 $\mu g/m^3$	↘	45 µg/m3	18 fois/an	45 µg/m3

Les nouvelles normes de qualité de l'air pour les PM_{10} pour la protection de la santé humaine fixées par la nouvelle directive révisant la directive 2008/50/CE et comparaison avec les valeurs guides de l'OMS (2021)

Enjeux méthodologiques et incertitudes

Comme évoqué précédemment, de nombreux enjeux méthodologiques existent sur la quantification de la part condensable des émissions de particules dans plusieurs secteurs de l'inventaire. La taille des particules condensables variant de quelques nanomètres à quelques microns, la prise en compte de la part condensable des émissions impactera toutes les tailles de particules.

Pour une présentation très détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, téléchargez la dernière édition de notre rapport méthodologique « Ominea ».

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant, tous secteurs confondus, à 60% en 2023.

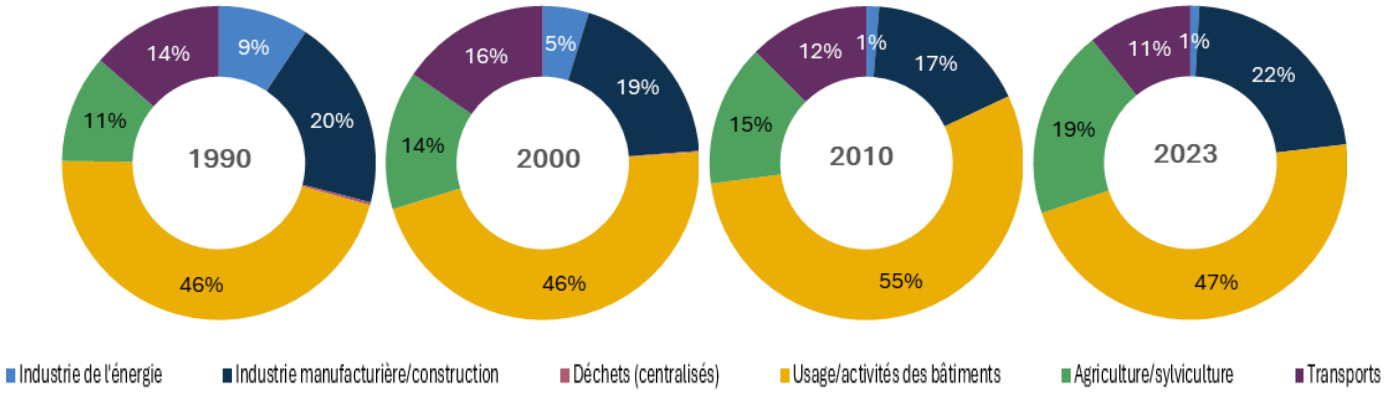
Par ailleurs, dans l'inventaire national, la part de particules condensables émises est complexe à estimer dans de nombreux secteurs et n'est pas encore prise en compte pour l'ensemble des sources émettrices. Il est à noter que les inventaires d'émissions estiment les émissions de particules primaires. Les modèles de chimie atmosphérique sont capables, dans une certaine mesure, de décrire les réactions chimiques complexes intervenant dans l'atmosphère entre les diverses

substances. Dans l'air ambiant, l'ensemble des particules primaires et secondaires est mesuré.

A noter

Il est important de noter que, dans l'inventaire national, certaines émissions de PM_{10} sont estimées mais ne sont pas incluses dans le périmètre national. Parmi elles, les émissions anthropiques du transport international aérien, fluvial ou maritime en font partie, ainsi que les émissions naturelles liées aux feux de forêts. D'autres émissions naturelles de particules dues aux volcans, à la foudre, à la végétation et autres, ne sont pas estimées dans l'inventaire français et ne font pas partie du périmètre d'inclusion national.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de PM_{10} en France (Métropole)

Tendance générale

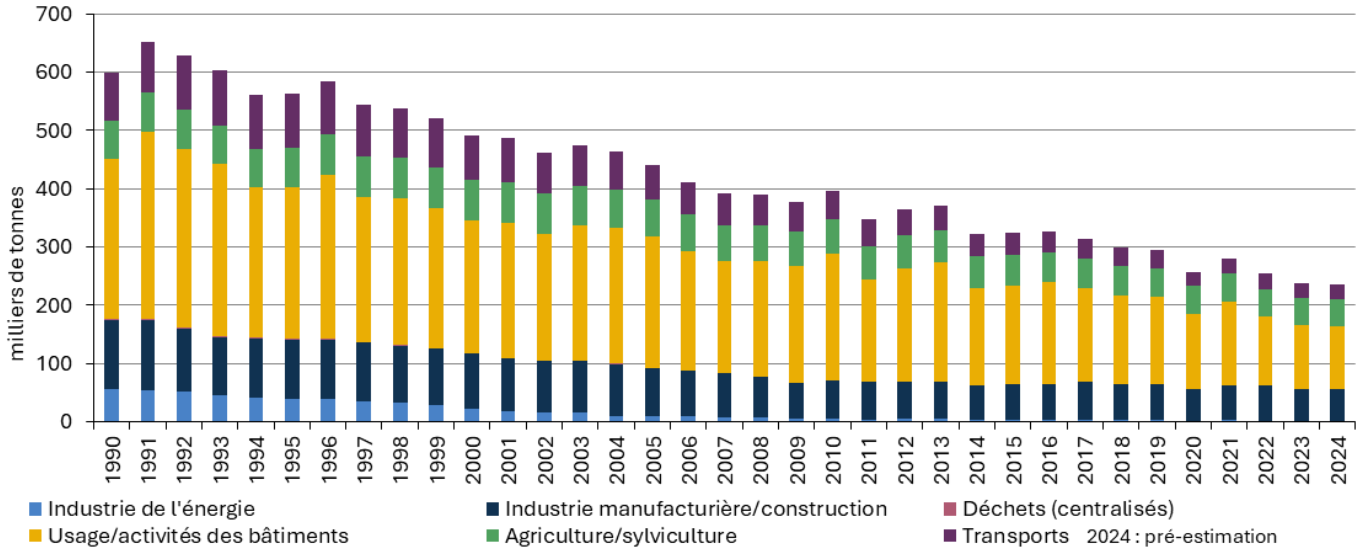
Entre 1990 et 2023, les émissions de PM_{10} ont diminué de 60% tous secteurs confondus, passant de 599 kt émises en 1990 à 239 kt en 2023, en France métropolitaine. Les pré-estimations pour l'année 2024 prévoient une légère baisse à un niveau de 237 kt de PM_{10}.

Le niveau actuel des émissions de particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM_{10}) est le plus bas observé depuis 1990, en deçà même des émissions de l'année 2020 marquée pourtant par la crise sanitaire et les périodes de confinements successives. En France métropolitaine, tous les secteurs sont émetteurs de PM_{10}, mais les secteurs contribuant majoritairement aux émissions de ce polluant en 2023 sont :

- les usages des bâtiments et activités du résidentiel/tertiaire à hauteur de 47%, principalement du fait de la combustion du bois et, dans une moindre mesure, du charbon et du fioul,
- l'industrie manufacturière à hauteur de 22%, avec notamment le secteur de la construction,
- l'agriculture/sylviculture à hauteur de 19%, notamment du fait des élevages et des labours des cultures,
- enfin, les transports (11%), dû principalement à l'échappement des combustibles brûlés et à l'abrasion des routes, des freins et des pneus.

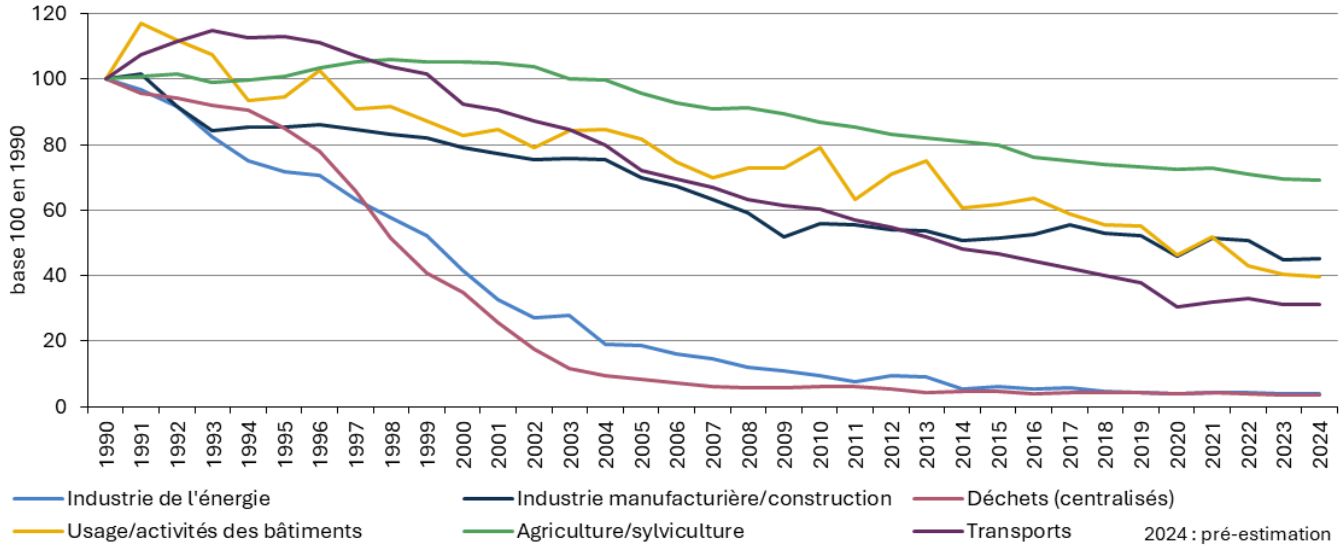
La répartition entre les différents secteurs varie peu selon les années, à part pour le secteur de l'agriculture/sylviculture qui gagne en importance dû à une réduction des émissions plus lente que dans les autres secteurs. A noter que les émissions du secteur de la transformation de l'énergie étaient significativement plus importantes en 1990 du fait de l'extraction minière principalement, des centrales à charbon, ainsi que de l'absence d'équipement de réduction sur les centrales. Les émissions de PM_{10} du secteur du traitement des déchets, qui ont nettement baissé depuis 1990, représentent une part marginale des émissions totales.

Les émissions nationales ont été largement réduites depuis 1990. Toutefois, en 1991, le niveau des émissions était exceptionnellement haut (maximum observé sur la période d'étude) notamment dû à une forte consommation de bois dans le secteur résidentiel/tertiaire, en réponse à un hiver très rigoureux.



Evolution des émissions dans l'air de PM_{10} depuis 1990 en France (Métropole)

La baisse globale des émissions observées depuis 1990 est de 60% et présente dans tous les secteurs à différentes magnitudes. Elle est engendrée, d'une part, par l'amélioration des performances des techniques de dépoussiérage, notamment dans les installations de métallurgie et d'autre part, par les effets de structure, notamment l'amélioration des technologies pour la combustion de la biomasse et la mise en place des normes Euro pour le transport routier. Enfin, l'arrêt de l'exploitation des mines à ciel ouvert en 2002 et des mines souterraines en 2004 a contribué également significativement à la diminution des émissions.



Evolution des émissions dans l'air de PM_{10} en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

Lors des dernières années, les émissions globales de PM_{10} ont de nouveau tendance à baisser, après avoir connu une légère stagnation entre 2014 et 2017. En effet, entre 2017 et 2019, les émissions de PM_{10} ont connu une baisse continue (-6%), notamment à la suite d'hivers plus doux et donc une contribution plus faible de la combustion résidentielle, et également grâce à la baisse des émissions du transport et de l'industrie manufacturière.

En 2020, les émissions de PM_{10} ont connu un recul très important (-13% comparé à 2019), notamment dû à la crise sanitaire et donc la baisse certaine de la contribution des secteurs du transport et de l'industrie manufacturière et construction, mais également dû à la rigueur de l'hiver qui était la plus faible observée depuis 1990 (environ au niveau de celle de 2014) et donc de la consommation plus faible de biomasse dans le secteur résidentiel.

Pour l'année 2021, un effet rebond est observé et les émissions nationales de PM_{10} ont augmenté de 9% comparativement à 2020, en partie dû à la reprise de l'activité dans certains secteurs comme le transport

(+6% d'émissions) et l'industrie manufacturière (+12%), mais aussi lié à la rigueur du climat qui a entraîné une augmentation des émissions du secteur résidentiel, et plus particulièrement du chauffage, de +11%. Néanmoins, le niveau d'émission de 2021 reste inférieur de 5% au niveau de 2019.

En 2022, puis en 2023, les émissions nationales de PM_{10} ont repris leur baisse, pour atteindre un niveau inférieur de -5% à celui de 2021, en lien notamment avec une diminution importante des émissions dans le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (-22% entre 2021 et 2023) et, dans une moindre mesure, à celles de l'industrie manufacturière et construction (-13%).

D'après nos pré-estimations portant sur l'année 2024, les émissions nationales de PM_{10} devraient poursuivre leur baisse (environ -1% par rapport à 2023).

Cependant, en faisant abstraction de la forte baisse conjoncturelle de l'année 2020 (crise sanitaire et confinements), les émissions de certains secteurs comme l'industrie manufacturière stagnent ou sont en légère baisse depuis une dizaine d'années, notamment à cause de sous-secteurs comme la construction, la métallurgie des métaux, l'agroalimentaire et d'autres industries qui voient leurs émissions stagner voire être en légère augmentation comparativement aux niveaux de 2014. Cette tendance s'est légèrement inversée en 2023 où les émissions de la construction ont baissé de façon significative (-22% comparé à 2022). Bien qu'il ne représente plus un secteur majeur des émissions de PM_{10}, le secteur de la transformation d'énergie est également en stagnation relative du fait de l'augmentation des émissions du chauffage urbain comparée à 2011 (augmentation des installations fonctionnant à la biomasse), tandis que celles liées à la production d'électricité poursuivent leur diminution continue au fur et à mesure que les centrales à charbon se font substituer (légère stagnation depuis 2018). Enfin, le secteur de l'agriculture est plutôt en stagnation depuis 2016, notamment à cause de l'accroissement des élevages de volailles, compensés par les efforts faits pour les engins mobiles non routiers de l'agriculture/sylviculture avec les normes mises en place et le renouvellement du parc d'engins.

En ce qui concerne les autres secteurs, ils ont tous suivi la tendance historique de réductions de leurs émissions, notamment grâce à la mise en œuvre de normes pour les installations fixes et pour les véhicules du transport routier.

Pour le secteur du résidentiel/tertiaire, les émissions de PM_{10} ont également eu tendance à diminuer lors des dernières années. Cependant, il est parfois difficile d'évaluer l'impact de l'amélioration des performances des équipements et des mesures tant la consommation de bois fluctue avec la rigueur annuelle du climat. Par exemple, pour les années 2011, 2014 et 2020, le climat très doux de ces années est principalement responsable de la baisse des consommations d'énergie dans les secteurs du résidentiel/tertiaire et de la transformation d'énergie. Les émissions plus élevées en 2013 proviennent à l'inverse d'un climat un peu moins favorable. Néanmoins, le renouvellement progressif et continu des équipements individuels de chauffage au bois, associé à l'optimisation du rendement de ces équipements et la mise en place de normes (labellisation Flamme verte), favorise la baisse des émissions du résidentiel. Le recours croissant aux appareils à granulés depuis 2004, contribue également à la baisse des émissions lorsqu'il se fait au détriment d'appareils plus émissifs.

Les PM_{10} attirent de plus en plus d'intérêt ces dernières années, notamment à cause des risques sanitaires causées par les particules dites « fines ». Les émissions de PM_{10} continueront probablement de diminuer tendanciellement au cours des prochaines années en lien avec différentes mesures qui se recoupent avec celles mentionnées pour les particules totales en suspension (arrêtés sur les installations de combustion, les normes Euro, etc.). De plus, l'optimisation des rendements de procédés de combustion associée à des technologies de réductions comme les systèmes d'abattements laissent supposer que des réductions supplémentaires sont réalisables.

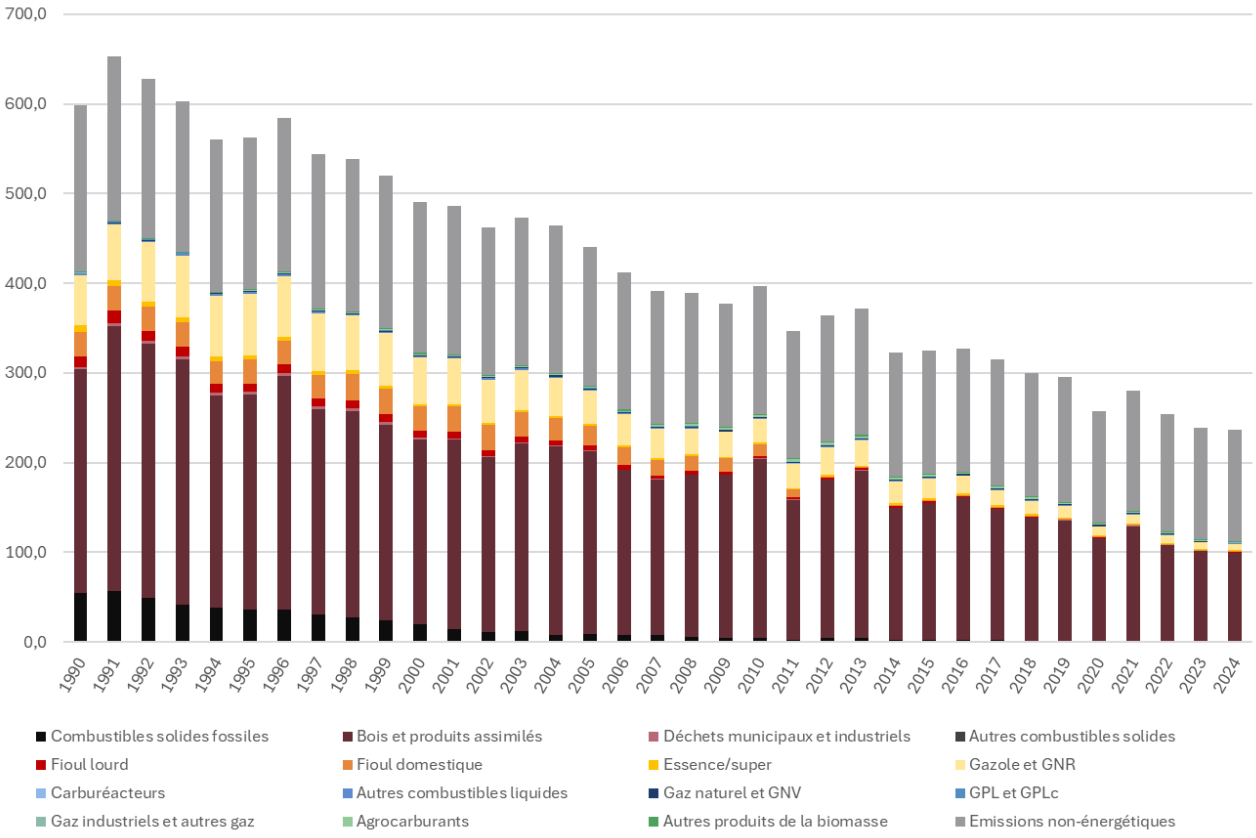
Cependant, la part croissante de la biomasse dans la consommation totale de combustibles, qui est une source prépondérante de particules, pourrait affecter l'évolution des émissions de PM_{10}.

Part des émissions liées aux combustibles

Pour les PM_{10}, la combustion de combustibles contribue de façon majeure aux émissions nationales, mais leur part diminue progressivement et de façon non négligeable au cours de la période (69% en 1990 contre 48% en 2023). Ceci est dû notamment aux progrès disparates réalisés entre les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 72% et 33% comparativement à leurs niveaux de 1990. En effet, l'évolution des technologies et la mise en place de normes sur les installations de combustion ont permis des progrès considérables, qui ne sont pas toujours aussi facilement identifiables et réalisables pour des émissions comme celles dues à l'abrasion des routes, des pneus et des freins, de la construction ou encore celles liées aux labours.

Parmi les combustibles, la consommation de bois est le principal contributeur d'émissions de PM_{10}, représentant environ 60% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 87% en 2023. Pourtant, la

diminution des émissions de la combustion de bois a grandement participé à la réduction des émissions totales de PM_{10} avec une réduction de ses émissions de 60%. La part croissante des émissions du bois est en partie due à l'intérêt récent porté à ce combustible en termes d'émissions de gaz à effet de serre qui l'a vu substitué d'autres combustibles comme le fioul. De plus, la substitution progressive des combustibles solides fossiles est une des autres raisons principales expliquant la réduction observée dans les émissions totales ainsi que la contribution grandissante du bois, avec une réduction de 98% des émissions de PM_{10} depuis 1990. Les combustibles liquides ont également permis cette réduction globale d'émissions avec notamment le gazole qui a subi une réduction de ces émissions de 87% grâce aux progrès technologiques et à la mise en place de filtres à particules en 2011.



Répartition des émissions de PM_{10} par combustible en France (Métropole)

Emissions du bois énergie de réduction

Quasiment entièrement dues au bois-énergie domestique sur toute la période 1990-2023, les émissions de particules des applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique représentent la quasi-totalité de ces émissions pour le secteur résidentiel-tertiaire et une partie importante des émissions nationales de particules : le bois-énergie résidentiel représentait 41% des émissions nationales de PM_{10} en 1990 et 40% en 2023, une contribution presque constante malgré la baisse des émissions en valeur absolue.

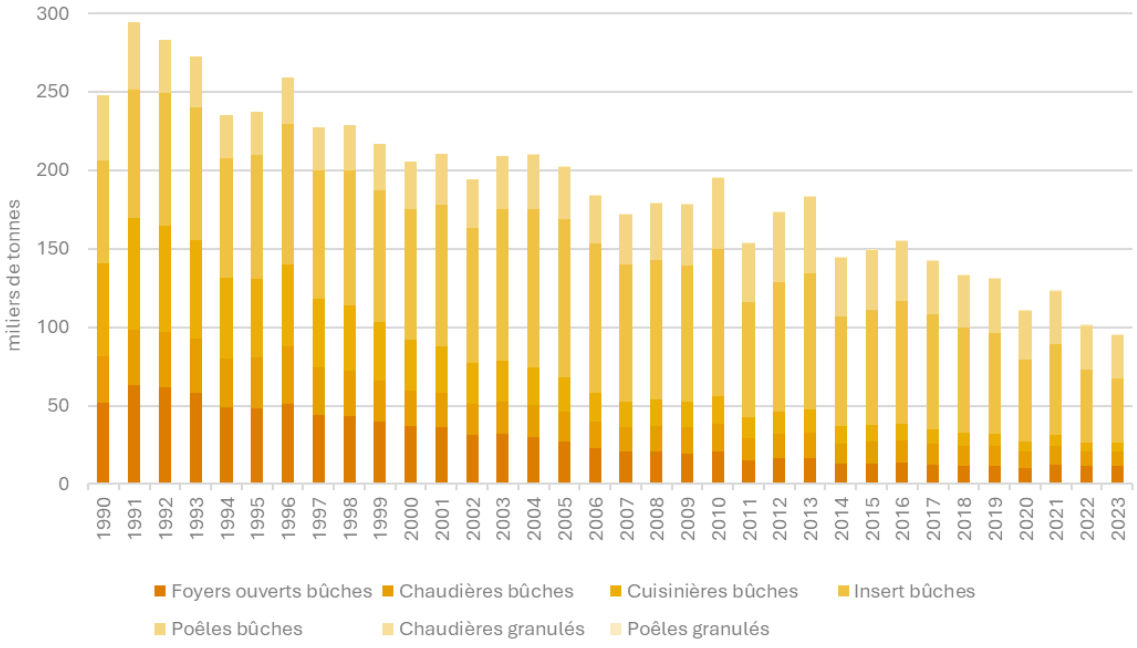
Depuis 1990, les émissions de particules totales de ce secteur ont fortement baissé en lien avec les améliorations des performances des équipements fonctionnant au bois dans ce secteur et la baisse d'utilisation des foyers ouverts, fortement émissifs. Comme pour les autres polluants, les fortes variations interannuelles observées peuvent-être directement reliées aux variations de l'indice de rigueur climatique en France métropolitaine.

Emissions de PM $_{10}$ (kt/an) Périmètre : Métropole	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Chaudières bûches	29,9	32,1	22,9	19,0	18,2	13,6	14,3	13,2	12,5	12,4	10,6	11,9	9,7	9,4
Cuisinières bûches	59,3	50,4	32,2	21,7	17,2	10,7	10,6	9,2	8,3	7,8	6,3	6,9	5,5	5,1
Insert bûches	65,5	79,2	83,6	100,8	93,7	73,3	77,9	73,6	67,2	64,2	52,3	57,9	46,5	41,5
Poêles bûches	41,4	27,5	29,9	33,3	45,4	38,0	38,2	33,6	33,2	34,3	30,6	33,2	27,8	27,0
Foyers ouverts bûches	51,7	48,3	36,8	27,1	20,5	13,2	13,6	12,4	11,8	11,9	10,3	12,6	11,3	11,7
sous-total bûches	**247,7**	**237,5**	**205,3**	**202,0**	**194,9**	**148,8**	**154,6**	**142,1**	**132,9**	**130,6**	**110,1**	**122,6**	**100,8**	**94,6**
Chaudières granulés	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Poêles granulés	-	-	-	0,0	0,2	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
sous-total granulés	**-**	**-**	**-**	**0,0**	**0,2**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,7**	**0,8**	**0,8**	**0,9**	**0,9**
Total Bois résidentiel	***247,7***	***237,5***	***205,3***	***202,0***	***195,1***	***149,2***	***155,1***	***142,7***	***133,6***	***131,3***	***110,8***	***123,4***	***101,7***	***95,5***
Total - Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique	**254,1**	**241,1**	**207,9**	**204,2**	**197,0**	**150,3**	**156,3**	**143,8**	**134,6**	**132,3**	**111,7**	**124,4**	**102,5**	**96,3**
dont bois résidentiel (%)	***98%***	***98%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***	***99%***

Evolution des émissions de PM_{10} du bois-énergie, par typologie d'appareil, dans le secteur résidentiel en France (Métropole- en kt)

Depuis 2004, l'usage croissant des granulés de bois utilisés principalement dans poêles à granulés, contribue également à la baisse observée se substituant en partie à des appareils plus émissifs. Elle s'explique également par la mise en place progressive de labels (différentes classes du label « Flamme verte ») certifiant un certain niveau de performance (sur le rendement énergétique et sur les niveaux d'émission de certains polluants dont les particules) des appareils à bûches accompagné d'améliorations technologiques qui réduisent progressivement le niveau des émissions de particules (introduction d'air secondaire dans la chambre de combustion, meilleure étanchéité, préchauffage de l'air secondaire, ...).

Au sein du bois-énergie résidentiel et en 2023, les émissions de PM_{10} proviennent principalement des inserts bûches (à 43%), des poêles à bûches (à 28%) mais également encore des foyers ouverts à hauteur de 12%. Le recours aux cuisinières bûches a fortement diminué depuis 1990 : celles-ci représentaient alors 24% des émissions de PM_{10} contre seulement 5% en 2023.



Répartition des émissions de PM_{10} du bois-énergie, par typologie d'appareil, dans le secteur résidentiel en France (Métropole)

$PM_{2.5}$ | Particules fines

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm (microns). Elles sont émises directement par de nombreuses sources ou se forment indirectement par voies secondaires.

Composition chimique
La composition chimique dépend de leur origine et des mécanismes de formation : elle peut associer le carbone suie (émis lors de phénomènes de combustion incomplète), une fraction minérale (éléments issus de l'érosion, sables), des composés inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium, issus de réactions chimiques entre gaz précurseurs), des métaux (plomb, zinc, etc.) et du carbone organique. Les particules les plus fines sont plutôt associées aux composés secondaires. Les $PM_{2,5}$ contiennent principalement de la matière organique et des espèces secondaires (nitrate et sulfate d'ammonium...).

Origine
Sources anthropiques : combustion, industrie, chantiers, transport et agriculture.

Sources naturelles : érosion éolienne, embruns marins.

Phénomènes associés
Particules primaires issues de rejets directs dans l'air.

Particules secondaires issues de recombinaison chimique entre polluants (NOx, NH_3, SO_2, COV) dans l'atmosphère.

Les particules fines peuvent rester en suspension, stagner dans l'air pendant plusieurs jours voire quelques semaines et voyager sur de longues distances.

Effets

Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

Santé

Enjeux

Enjeux sanitaires et environnementaux

Effets sur la santé

L'impact des particules sur la santé est désormais indéniable et plus les particules sont fines, plus elles représentent un risque sanitaire car elles peuvent pénétrer plus facilement dans le système respiratoire ou bien le sang.

Les particules dites fines, comme les $PM_{2,5}$, font l'objet d'une plus grande attention ces dernières années, notamment dû aux risques sanitaires qu'elles présentent, notamment sur les maladies cardio-vasculaires et respiratoires, et ont été classées en tant que substance cancérigène. Les $PM_{2,5}$ ont notamment été responsables de la mort prématurée de plus de 20 680 personnes en France en 2022 selon un rapport de l'AEE (AEE 2024 – air pollution country fact sheet), en baisse comparativement à l'année 2019 où 29 800 morts prématurées étaient estimées. (Voir paragraphe « Effets sur la santé » en début de chapitre).

Effets environnementaux

En ce qui concerne l'impact que peuvent avoir les $PM_{2,5}$ sur l'environnement, beaucoup de phénomènes distincts peuvent être considérés, à diverses échelles, et pour toutes tailles de particules. De ce fait, il est conseillé de se référer à la partie générale sur les effets sur l'environnement en début de chapitre pour en connaître davantage sur les enjeux environnementaux liés aux particules.

Objectifs de réduction

Les objectifs de réduction des émissions et des concentrations de particules à l'échelle internationale, nationale et même locale concernent principalement les émissions et les concentrations de PM_{10} et $PM_{2,5}$ (cf. partie ci-dessus sur réglementations) avec notamment le Protocole de Göteborg amendé, la directive 2016/2284 sur la réduction des émissions nationales de certains polluants (i.e., NEC-2 (*national emission ceiling*)) puis, en France, par le PREPA adopté en 2017 et révisé en 2022.

En ce qui concerne les émissions de $PM_{2,5}$, les objectifs de réduction de la France pour 2020 et 2030 sont respectivement de -27% et -57%, comparativement aux niveaux d'émissions de 2005.

De plus, en ce qui concerne la qualité de l'air, les concentrations de $PM_{2,5}$ sont mesurées et surveillées quotidiennement sur l'ensemble du territoire et une valeur limite de concentration moyenne annuelle de 25 µg/m^3 doit être respectée. Les concentrations moyennes journalières et annuelles recommandées par l'OMS, respectivement de 15 et 5 µg/m^3 suite à la mise à jour de septembre 2021 (respectivement de 25 et 10 µg/m^3 auparavant), pourraient également devenir les nouveaux objectifs à respecter pour certains pays comme la France.

L'arrêté ministériel du 10 juillet 2020, définissant le nouvel indice de la qualité de l'air ambiant (dit indice ATMO) et fixant les modalités de calcul de celui-ci, a intégré les $PM_{2,5}$ à cet indice.

Plan d'action pour les émissions du chauffage au bois

Le 23 juillet 2021, la Ministre de la Transition écologique (MTE) a publié un plan d'actions sur le chauffage au bois qui vise à atteindre entre 2020 et 2030, d'une part, une baisse de plus de 30% des émissions annuelles de $PM_{2,5}$ issues du chauffage au bois à l'échelle nationale et, d'autre part, une baisse de 50% de celles dans les territoires les plus pollués (dans les zones dites PPA [Plans de protection de l'atmosphère]), en favorisant l'utilisation d'équipements performants et de combustible de qualité.

Le plan d'actions comprend un état des lieux de la situation et de l'enjeu sanitaire avec les leviers existants pour permettre des réductions d'émissions, ainsi qu'une feuille de route présentant onze mesures réparties sur six axes :

- Sensibiliser le grand public à l'impact sur la qualité de l'air du chauffage au bois avec des appareils peu performants,
- Renforcer et simplifier les dispositifs d'accompagnement pour accélérer le renouvellement des appareils de chauffage au bois,
- Améliorer la performance des nouveaux équipements de chauffage au bois,
- Promouvoir l'usage d'un combustible de qualité,
- Encadrer le chauffage au bois dans chaque zone PPA, en prenant des mesures adaptées aux territoires pour réduire les émissions de particules fines,
- Améliorer les connaissances sur l'impact sanitaire des particules issues de la combustion du bois.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

Comme évoqué précédemment, de nombreux enjeux méthodologiques existent sur la quantification de la part condensable des émissions de particules dans plusieurs secteurs de l'inventaire. La taille des particules condensables variant de quelques nanomètres à quelques microns, la prise en compte de la part condensable des émissions impactera toutes les tailles de particules.

► Pour une présentation très détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, téléchargez la dernière édition de notre rapport méthodologique « Ominea ».

Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant, tous secteurs confondus, à 62% en 2023.

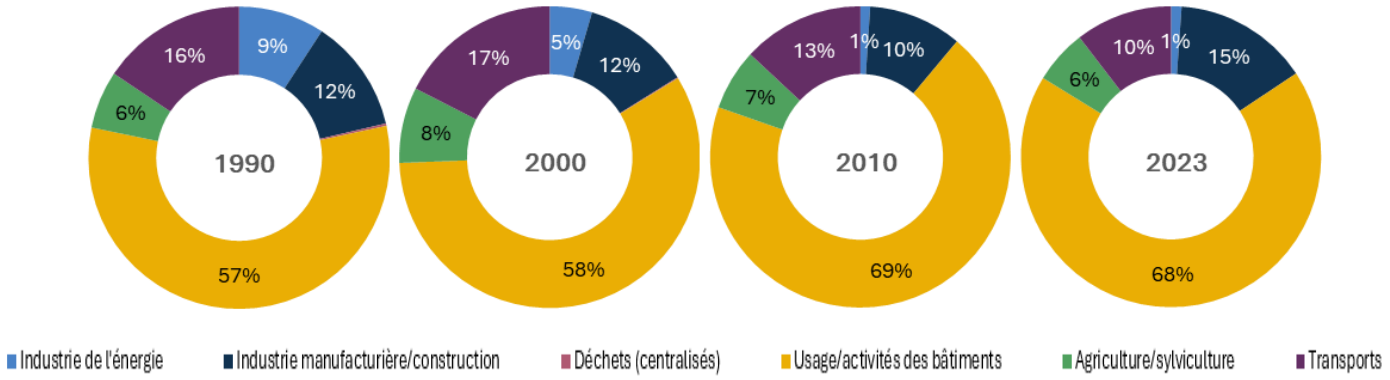
Par ailleurs, dans l'inventaire national, la part de particules condensables émise est complexe à estimer dans de nombreux secteurs et n'est pas encore prise en compte pour l'ensemble des sources émettrices.

Il est à noter que les inventaires d'émissions estiment uniquement les émissions de particules primaires. Les modèles de chimie atmosphérique sont capables, dans une certaine mesure, de décrire les réactions chimiques complexes intervenant dans l'atmosphère entre les diverses substances. Dans l'air ambiant, l'ensemble des particules primaires et secondaires est mesuré.

Emissions hors-total

Il est important de noter que, dans l'inventaire national, certaines émissions de $PM_{2,5}$ sont estimées mais ne sont pas incluses dans le périmètre national. Parmi elles, les émissions anthropiques du transport international aérien, fluvial ou maritime en font partie, ainsi que les émissions naturelles liées aux feux de forêts. D'autres émissions naturelles de particules dues aux volcans, à la foudre, à la végétation et autres, ne sont pas estimées dans l'inventaire français et ne font pas partie du périmètre méthodologique.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de $PM_{2.5}$ en France

Tendance générale

Entre 1990 et 2023, les émissions de $PM_{2.5}$ ont diminué de 66% tous secteurs confondus, passant de 475 kt émises en 1990 à 160 kt en 2023, en France métropolitaine.

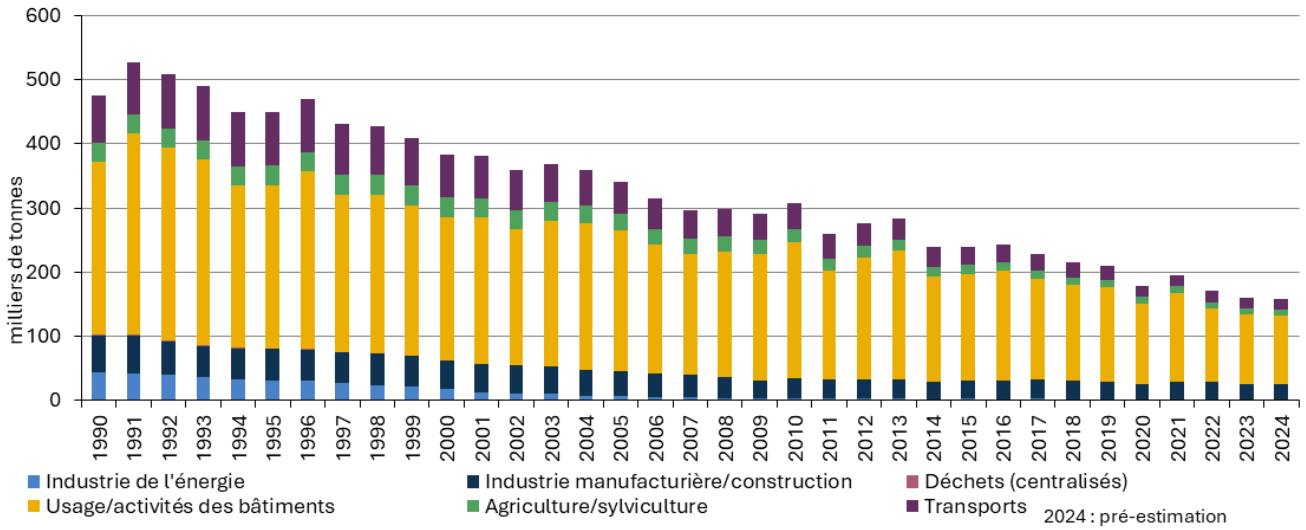
Les pré-estimations pour l'année 2024 prévoient une réduction des émissions à un niveau de 158 kt de $PM_{2.5}$, soit une baisse interannuelle de 1,2%.

Le niveau des émissions de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns ($PM_{2,5}$) observé est globalement en baisse et est aujourd'hui le plus bas observé depuis 1990, en deçà même des émissions de l'année 2020 marquée pourtant par la crise sanitaire et les périodes de confinements successives. Ces émissions sont induites par tous les secteurs. Les principaux secteurs contributeurs en 2023 sont :

- le résidentiel/tertiaire, à hauteur de 68%, dont la principale source est la combustion de la biomasse, majoritairement domestique, ainsi que, dans une moindre mesure, de fioul,
- l'industrie manufacturière, à hauteur de 15%, dont les principales sources sont les chantiers de construction/BTP, la sidérurgie et l'exploitation des carrières,
- les transports, à hauteur de 10%, notamment dû à l'échappement de carburants brûlés (diesel et essence principalement) et à l'usure des routes, des pneus et des freins (et des caténaires pour le transport ferroviaire).

Pour les secteurs moins représentés comme la transformation d'énergie, l'agriculture/sylviculture et le traitement des déchets, les émissions proviennent majoritairement de la combustion de biomasse, de charbon ou de carburants pour les engins mobiles non routiers, et des élevages. Cette répartition a relativement peu évolué depuis 1990, si ce n'est pour le secteur de l'industrie de l'énergie qui a fortement diminué sa contribution à la suite de l'arrêt de l'exploitation des mines et la mise en place de technologie de réduction sur certaines installations, sinon le secteur résidentiel/tertiaire est toujours le secteur le plus émetteur de $PM_{2,5}$.

Le secteur le moins émetteur de $PM_{2,5}$ est celui du traitement des déchets, qui a connu de fortes réductions d'émissions entre 1990 et 2005 grâce à une mise en conformité des installations d'incinération des déchets

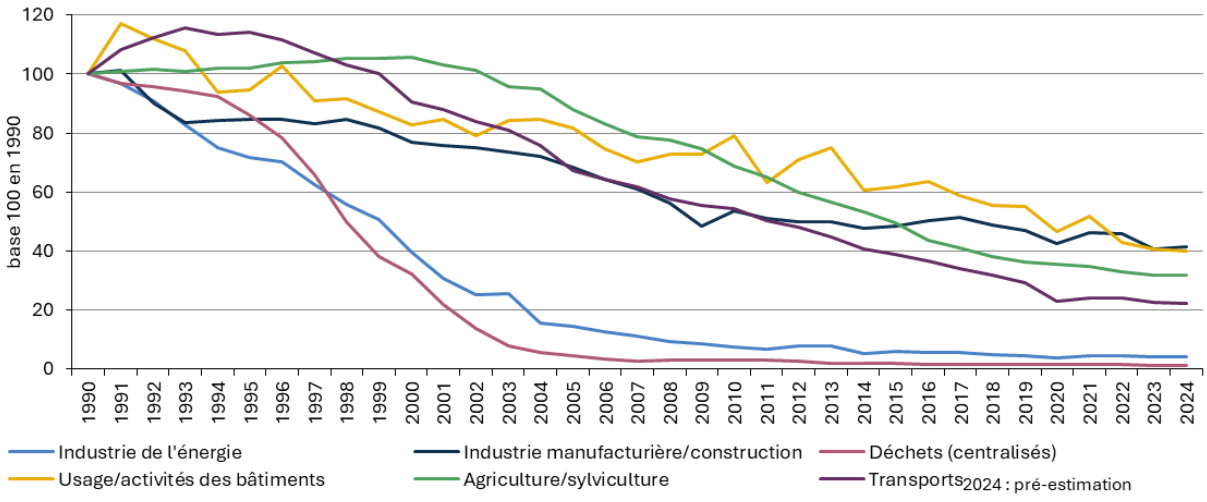


Evolution des émissions dans l'air de $PM_{2,5}$ depuis 1990 en France (Métropole)

Depuis 1990, les émissions totales ont été réduites de plus de 66%. Le niveau exceptionnellement élevé des émissions de l'année 1991, qui était particulièrement froide, s'explique, en particulier, par une forte consommation de bois dans le secteur résidentiel/tertiaire en réponse à un hiver particulièrement rigoureux.

Sur la période étudiée, une baisse plus ou moins importante des émissions est observée dans tous les secteurs. Cette baisse a plusieurs origines, dont l'amélioration des performances des techniques de dépoussiérage dans de nombreux secteurs de l'industrie manufacturière (sidérurgie, verrerie, cimenterie, etc.), l'amélioration des technologies pour la combustion de la biomasse (impact dans le secteur résidentiel/tertiaire), la mise en place de normes pour les engins routiers (Euro) et d'arrêtés pour les installations de combustion. De plus, l'arrêt de l'exploitation des mines à ciel ouvert en 2002 et des mines souterraines en 2004 a considérablement réduit les émissions de $PM_{2,5}$ (impact dans le secteur de la transformation d'énergie). Pour les transports aérien, fluvial et maritime, les tendances récentes montrent une stagnation de la réduction des émissions de $PM_{2,5}$. Cependant, suite à la mise en place par l'Organisation maritime internationale (OMI) d'une limite de 0,5% pour la teneur en soufre des carburants maritimes, ce secteur devrait voir ses émissions de PM baisser prochainement par l'usage de combustibles plus propres ou bien d'équipements de réductions comme les laveurs, qui contribuent à réduire les émissions de PM.

Pour les années 2011, 2014, 2015, 2018, 2019 et 2020, en plus des progrès continus réalisés récemment et d'éventuels contextes particuliers, le climat plus doux de ces années est également responsable de la baisse des consommations d'énergie dans les secteurs du résidentiel/tertiaire et de la transformation d'énergie.

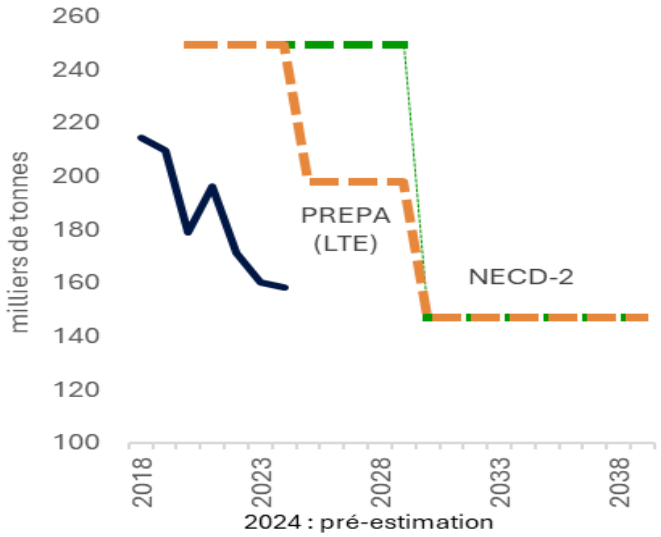


Evolution des émissions dans l'air de $PM_{2,5}$ en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Atteinte des objectifs

Réduction des émissions

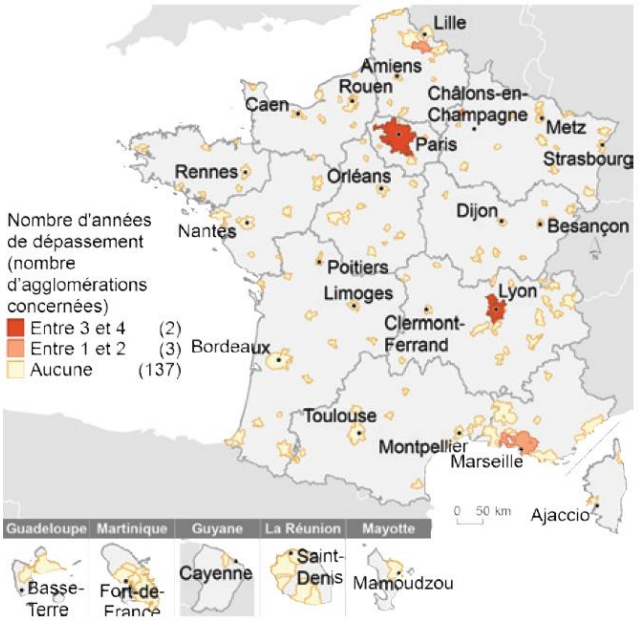
En ce qui concerne les émissions de $PM_{2,5}$, les objectifs de réduction de la France pour 2020 et 2030 sont respectivement de -27% et -57%, comparativement aux niveaux d'émissions de 2005. A titre informatif, en 2020, le niveau d'émissions de $PM_{2,5}$ était inférieur à celui de 2005 de 48%, respectant largement le plafond à ne pas dépasser. Même si l'année 2020 est marquée par la crise sanitaire, les niveaux de 2019 et de 2021 respectent eux aussi cet objectif. Cependant, pour respecter l'objectif de 2030, les émissions doivent continuer de baisser.



Qualité de l'air

D'après l'AEE (AEE 2024, bis), en 2022, moins de 1% de la population urbaine de l'UE est exposée à des concentrations excédant les valeurs standards de l'UE, tandis que 96% sont exposés à des valeurs dépassant les valeurs guides de l'OMS (seuil annuel à 5 µg/m³). En 2023 (AEE 2025), trois Etats membres de l'UE ont rapporté des dépassements des concentrations journalières limites de l'UE qui est à 25 µg/m³, ce qui n'est pas le cas de la France (concentration médiane à 9 µg/m³).

Carte 4 : $PM_{2,5}$ (période 2009-2023)



Nombre d'années de dépassement des seuils réglementaires fixé pour la protection de la santé par agglomération, sur la période 2009-2023, pour les $PM_{2,5}$ (SDES 2024)

D'après le bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2023 (SDES 2024), aucune agglomération n'est concernée par des dépassements des seuils règlementaires fixés pour les $PM_{2,5}$.

La carte ci-dessus résume le nombre d'années de dépassement des seuils réglementaires fixés, par agglomération, sur la période 2009-2023 (SDES 2024).

Une directive européenne adoptée en avril 2024 (Directive (EU) 2024/288) fixe des objectifs plus stricts à atteindre, d'ici 2030, pour les concentrations en $PM_{2,5}$, l'objectif étant de s'aligner davantage sur les valeurs guide de l'OMS.

Polluant	Périodicité	Type de norme	Norme en vigueur		Norme révisée adoptée pour 2030	Dépassements autorisés	Valeurs guides de l'OMS (2021)
$PM_{2,5}$	Annuelle	Valeur limite	25 µg/m³	↘	10 µg/m3	-	5 µg/m3
	24h	Valeur limite	*pas de norme*	↓	25 µg/m3	18 fois/an	15 µg/m3

Les nouvelles normes de qualité de l'air pour les $PM_{2,5}$ pour la protection de la santé humaine fixées par la nouvelle directive révisant la directive 2008/50/CE et comparaison avec les valeurs guides de l'OMS (2021)

Plan action national bois

Les mesures nationales prévues dans les axes 1 à 4 du plan national contre les émissions du chauffage au bois doivent permettre d'atteindre une baisse des émissions de $PM_{2,5}$ supérieure à 30% des émissions annuelles du chauffage au bois entre 2020 et 2030 à l'échelle nationale.

En 2024, d'après nos pré-estimations, les émissions de $PM_{2,5}$ du chauffage domestique au bois sont inférieures de 11% au niveau de 2020.

▶ Voir le Chapitre Politiques Air.

Évolution récente

Lors des dernières années, les émissions nationales de $PM_{2,5}$ sont globalement en baisse, malgré une légère stagnation entre 2014 et 2016, fluctuant notamment en fonction de la consommation domestique de bois et de la rigueur du climat.

En effet, pour le secteur du résidentiel/tertiaire, les émissions de $PM_{2,5}$ ont poursuivi leur baisse générale après avoir augmenté et fluctué légèrement entre 2014 et 2016 à cause de climats mois doux. Ainsi, il est plutôt difficile d'évaluer l'impact de l'amélioration des performances des équipements et des mesures tant la consommation de bois fluctue avec la rigueur climatique annuelle. Par exemple, pour les années 2011, 2014, 2015, 2018 et 2019, le climat très doux de ces années est principalement responsable de la baisse des émissions des secteurs du résidentiel/tertiaire et de la transformation d'énergie. En revanche, les années 2012, 2013 et 2016, plus froides, montrent un regain des émissions de $PM_{2,5}$ notamment dans le résidentiel/tertiaire, du fait d'une consommation énergétique plus importante. Le progrès réalisé par le renouvellement d'appareils plus performants peut être observé en comparant les données de consommations de bois résidentiel et, par exemple, celles de 2009, 2015 et 2019 sont du même ordre de grandeur alors que les niveaux d'émissions ont considérablement baissé. Une analyse similaire peut être faite pour les années 2012 et 2021 où les consommations de bois et les coefficients de rigueurs sont semblables, mais les émissions de $PM_{2,5}$ du chauffage résidentiel ont chuté de 29%.

Pour l'année 2020, l'impact de la crise sanitaire avec la baisse conséquente des activités de certains secteurs comme le transport et l'industrie manufacturière et construction, en complément d'un hiver très doux (le plus doux observé depuis 1990), a contribué grandement à la réduction des émissions nationales de $PM_{2,5}$ de 15% observée entre 2019 et 2020. Les trois secteurs les plus contributeurs que sont le résidentiel-tertiaire, l'industrie manufacturière et la construction et les transports ont tous participé à cette baisse importante avec des réductions respectives de 15%, 9% et 22% entre 2019 et 2020, tandis que le secteur de l'agriculture/sylviculture, qui est également un contributeur important, a connu une baisse plus modérée (-2%).

En 2021, un rebond des émissions nationales de $PM_{2,5}$ est observé (+10% comparativement à 2020), notamment à la suite de la reprise de l'activité dans certains secteurs comme le transport (+5% d'émissions) et l'industrie manufacturière (+9%), mais aussi lié à un hiver plus rigoureux qui a entraîné une augmentation des consommations de biomasse du secteur résidentiel (+16% de consommations de bois-énergie pour le résidentiel entre 2020 et 2021), et donc des émissions de $PM_{2,5}$ notamment pour le chauffage résidentiel (+11%). Toutefois, le niveau d'émission de 2021 est inférieur de 6% à celui de 2019, avant la crise sanitaire.

En 2022, puis en 2023, les émissions nationales de $PM_{2,5}$ ont repris leur baisse pour atteindre une réduction des émissions de 18% par rapport à 2021, en lien notamment avec une diminution importante des émissions dans le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (-22%).

D'après les pré-estimations réalisées pour l'année 2024, les émissions de $PM_{2,5}$ devraient poursuivre la baisse tendancielle observée et une réduction d'émissions d'environ 1,2% est attendue comparativement à 2023.

Abstraction faite de l'année 2020 (crise sanitaire et confinements), certains secteurs comme l'industrie manufacturière étaient plutôt stagnants depuis quelques années, notamment à cause des sous-secteurs majoritairement contributeurs comme la construction, la métallurgie des métaux ferreux et les minéraux non-métalliques qui ne parviennent plus vraiment à réduire leurs émissions de $PM_{2,5}$ depuis une dizaine d'années, tandis que les autres secteurs moins émetteurs comme le papier/carton ou les autres industries ont des émissions fluctuantes. Bien qu'il ne contribue plus majoritairement aux émissions de $PM_{2,5}$, le secteur de la transformation d'énergie est également en stagnation depuis 2012 dû à l'intensification du sous-secteur du chauffage urbain (développement accru de la biomasse). Les émissions liées à la construction ont chuté de 22% entre 2022 et 2023, ce qui a légèrement modifié cette tendance.

En ce qui concerne le transport et l'agriculture/sylviculture, les émissions sont en baisse continue même dans les années plus récentes, notamment grâce au renouvellement des engins mobiles vers des équipements répondant à des normes plus strictes.

Les $PM_{2,5}$ suscitent beaucoup d'intérêt ces dernières années, du fait des risques sanitaires liées à l'inhalation des particules dites « particules ultrafines ». De plus, dans le cadre de la directive NEC (« National Emission Ceilings », c'est-à-dire plafonds nationaux d'émissions), des objectifs d'émissions sont fixés pour les années à venir au niveau français.

Par conséquent, il est attendu que les émissions de $PM_{2,5}$ continuent de diminuer tendanciellement au cours des prochaines années. Les différentes mesures (à venir et existantes) concernant les particules en suspension sont, par exemple, le plan bois, les arrêtés sur les installations de combustion, la directive sur les émissions industrielles (IED, « *industrial emission*

directive »), les normes Euro, etc. qui devraient permettre de poursuivre les efforts réalisés dans la réduction des émissions. De plus, l'amélioration des performances des installations fixes (notamment pour les équipements domestiques de combustion au bois dans le résidentiel), associée à des technologies de réduction comme système d'abattement, laissent entendre que des réductions supplémentaires sont envisageables.

Néanmoins, il est difficile de prévoir l'évolution des émissions de $PM_{2,5}$ du fait du rôle essentiel de la rigueur climatique et, également, parce que la consommation de bois pourrait être de plus en plus importante dans le mix énergétique en réponse à des contraintes liées au réchauffement climatique.

Part des émissions liées aux combustibles

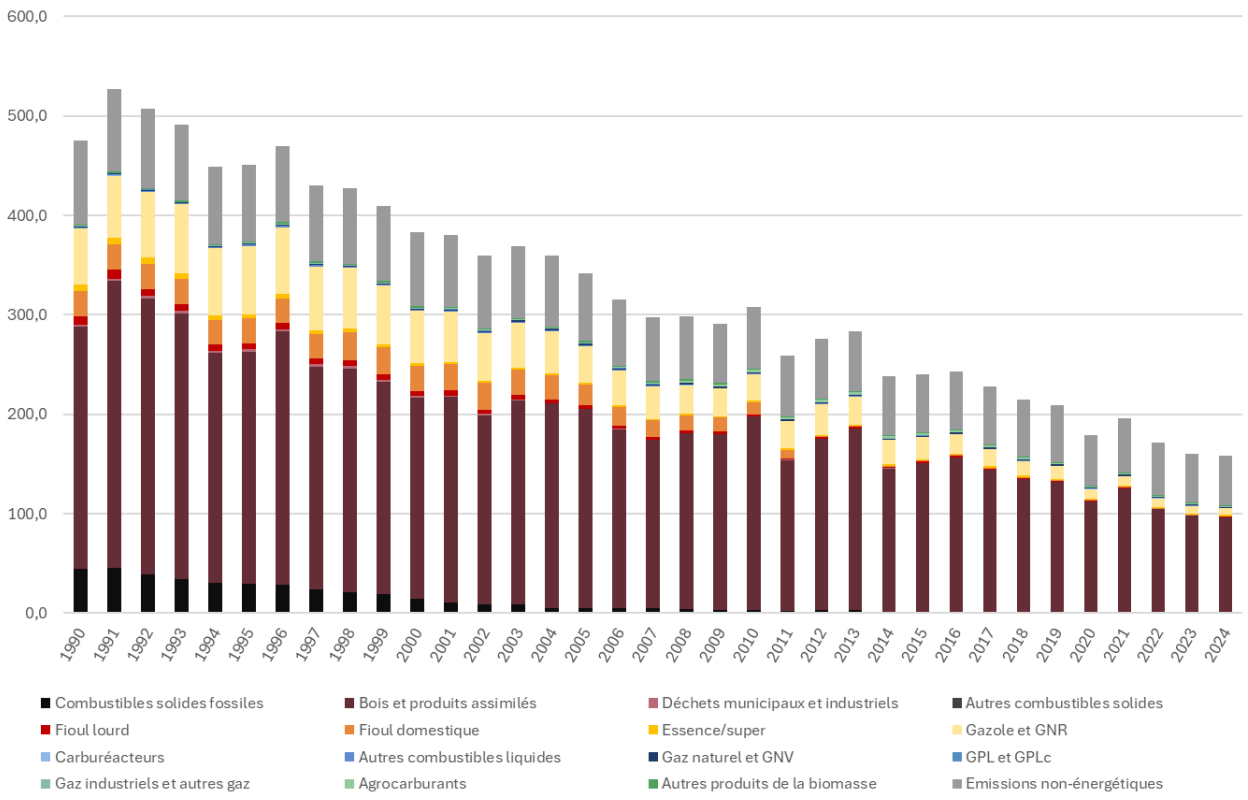
Pour les $PM_{2,5}$, la contribution de la combustion de combustibles aux émissions nationales est majeure malgré le fait que leur part diminue progressivement au cours de la période (82% en 1990 contre 69% en 2023). Une des explications réside dans la différence des progrès effectués pour réduire les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 72% et 42% comparativement à leurs niveaux de 1990. En effet, l'amélioration des rendements énergétiques des procédés et équipements conjointement avec la mise en place de normes et de valeurs limites d'émissions ont permis d'atténuer grandement les émissions de la combustion. A l'inverse, certaines sources d'émissions de $PM_{2,5}$ non-énergétiques comme celles dues à l'abrasion des routes, des pneus et des freins ou encore celles liées aux élevages ou au brûlage de résidus agricoles, ne parviennent pas à diminuer leur contribution respective.

Chauffage au bois

Parmi les combustibles, la consommation de biomasse, essentiellement dans le secteur résidentiel, est le principal contributeur aux émissions de $PM_{2,5}$, représentant environ 62% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 88% en 2023. Il est important de noter que, pour autant, les émissions de la combustion de bois ont diminué entre 1990 et 2023 de 60%, notamment grâce au renouvellement des équipements de chauffage individuel par des équipements plus performants et moins émetteurs. Cette contribution croissante du bois semble être en partie due à l'intérêt récent porté à ce combustible en termes d'émissions de gaz à effet de serre en vue de le substituer à d'autres combustibles comme le fioul domestique dans le chauffage résidentiel.

Baisses des autres combustibles

De plus, l'abandon progressif des combustibles solides fossiles explique aussi la réduction globale observée des émissions de la combustion ainsi que la part croissante du bois (-98% pour les émissions liées aux combustibles minéraux solides depuis 1990). Enfin, les combustibles liquides ont grandement contribué à réduire les émissions des combustibles avec principalement le fioul domestique et le gazole qui ont atteint des abattements respectifs de -97% et -87% grâce notamment aux normes implémentées pour les véhicules passagers et les engins mobiles non routiers. Pour le gazole, la mise en place de filtres à particules à partir de 2011 a également favorisé la baisse des émissions.



Répartition des émissions de $PM_{2.5}$ par combustible en France (Métropole)

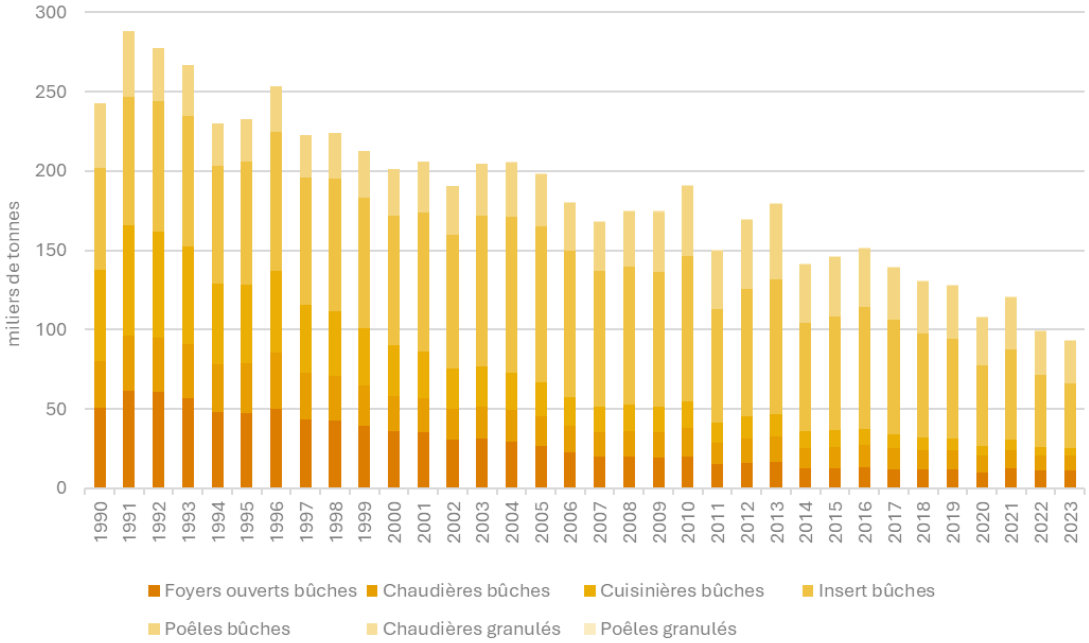
Emissions du chauffage résidentiel au bois

Sur la période 1990-2023, les émissions de particules $PM_{2.5}$ des applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique au bois-énergie représentent la quasi-totalité des émissions pour le secteur résidentiel-tertiaire, et une partie importante des émissions nationales de particules : le bois-énergie résidentiel représentait 51% des émissions nationales de $PM_{2.5}$ en 1990 et 58% en 2023, une contribution en hausse malgré la baisse des émissions en valeur absolue.

Depuis 1990, les émissions de particules totales de ce secteur ont fortement baissé en lien avec les améliorations des performances des équipements fonctionnant au bois dans ce secteur et la baisse d'utilisation des foyers ouverts, fortement émissifs. Comme pour les autres polluants, les fortes variations interannuelles observées peuvent-être directement reliées aux variations de l'indice de rigueur climatique en France métropolitaine.

Depuis 2004, l'usage croissant des granulés de bois utilisés principalement dans poêles à granulés, contribue également à la baisse observée se substituant en partie à des appareils plus émissifs. Elle s'explique également par la mise en place progressive de labels (différentes classes du label « Flamme verte ») certifiant un certain niveau de performance (sur le rendement énergétique et sur les niveaux d'émission de certains polluants dont les particules) des appareils à bûches accompagné d'améliorations technologiques qui réduisent progressivement le niveau des émissions de particules (introduction d'air secondaire dans la chambre de combustion, meilleure étanchéité, préchauffage de l'air secondaire, ...).

Au sein du bois-énergie résidentiel et en 2023, les émissions de $PM_{2.5}$ proviennent principalement des inserts bûches (à 43%), des poêles à bûches (à 28%) mais également encore des foyers ouverts à hauteur de 12%. Le recours aux cuisinières bûches a fortement diminué depuis 1990 : celles-ci représentaient alors 24% des émissions de $PM_{2,5}$ contre seulement 5% en 2023.



Répartition des émissions de $PM_{2.5}$ du bois-énergie, par typologie d'appareil, dans le secteur résidentiel en France (Métropole)

$PM_{1.0}$ | Particules très fines

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Particules dont le diamètre est inférieur à 1 µm (microns). Elles sont émises directement par de nombreuses sources ou se forment indirectement par voies secondaires. Les $PM_{1,0}$ incluent les particules ultra fines (PUF) de diamètre inférieur à 0,1 µm.

Composition chimique
La composition chimique dépend de leur origine et des mécanismes de formation : elle peut associer le carbone suie (émis lors de phénomènes de combustion incomplète), une fraction minérale (éléments issus de l'érosion, sables), des composés inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium, issus de réactions chimiques entre gaz précurseurs), des métaux (plomb, zinc, etc.) et du carbone organique. Les particules les plus fines sont plutôt associées aux composés secondaires. Les $PM_{1,0}$ contiennent principalement de la matière organique et des espèces secondaires.

Origine

Sources anthropiques : combustion, industrie, transport et agriculture.

Source naturelle : érosion éolienne, etc. (source mineure dans cette taille de PM).

Phénomènes associés

Particules primaires issues de rejets directs dans l'air.

Particules secondaires issues de recombinaison chimique entre polluants (NOx, NH_3, SO_2, COV) dans l'atmosphère.

Les particules fines peuvent rester en suspension, stagner dans l'air pendant plusieurs jours voire quelques semaines et voyager sur de longues distances.

Effets

Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

Santé

Enjeux

Enjeux sanitaires et environnementaux

Effets sur la santé

Plus les particules sont fines, plus elles représentent un risque sanitaire car elles peuvent pénétrer plus facilement dans le système respiratoire ou dans le sang. Les particules fines ($PM_{2,5}$ et moins), font l'objet d'une plus grande attention ces dernières années, notamment due aux risques sanitaires qu'elles présentent sur les maladies cardio-vasculaires et respiratoires, et ont été classées en tant que substance cancérigène. A l'heure actuelle, les $PM_{2,5}$ (qui incluent les $PM_{1,0}$) sont l'indicateur principal utilisé pour quantifier les risques sanitaires liés à l'exposition des particules, notamment du fait qu'elles soient mesurées régulièrement et réglementées. Cependant, les particules plus fines comme les $PM_{1,0}$, voire les $PM_{0,1}$ (PUF) suscitent de plus en plus d'intérêt (voir « Effets sur la santé » en début de chapitre)

Effets environnementaux

Concernant l'impact que peuvent avoir les $PM_{1,0}$ sur l'environnement, beaucoup de phénomènes distincts peuvent être considérés, à diverses échelles, et pour toutes tailles de particules. De ce fait, il est conseillé de se référer à la partie générale sur les effets sur l'environnement en début de chapitre pour en connaître plus sur les enjeux environnementaux liés aux particules. Les « particules ultrafines », au diamètre inférieur à 0,1 µm, sont une source croissante d'intérêt ces dernières années, à cause des risques sanitaires qui leurs sont associés.

Objectifs de réduction

Les objectifs de réduction de particules à l'échelle internationale, nationale et même locale concernent principalement les émissions et les concentrations de PM_{10} et $PM_{2,5}$ (cf. partie ci-dessus sur réglementations) avec notamment le protocole de Göteborg amendé, la directive 2016/2284 sur la réduction des émissions nationales de certains polluants (i.e., NEC-2 (*national emission ceiling*)) puis, en France, par le PREPA adopté en 2017 et révisé en 2022. Aucune spécification n'est donnée quant aux $PM_{1,0}$, qui ne fait pas partie des polluants dont les émissions doivent être nécessairement estimées et rapportées à la CLRTAP.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

De nombreux enjeux méthodologiques existent sur la quantification de la part condensable des émissions de particules dans plusieurs secteurs de l'inventaire. La taille des particules condensables variant de quelques nanomètres à quelques microns, l'impact de la prise en compte de la part condensable sur les émissions aura lieu pour toutes les tailles de particules.

▶ Voir notre rapport méthodologique « Ominea ».

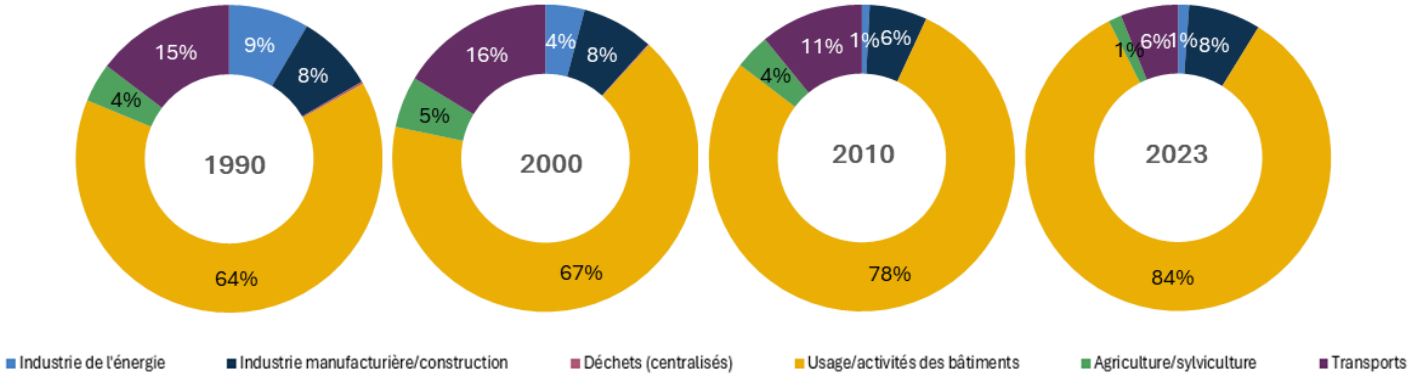
Il est à noter que les inventaires d'émissions estiment uniquement les émissions de particules primaires. Les modèles de chimie atmosphérique sont capables, dans une certaine mesure, de décrire les réactions chimiques complexes intervenant dans l'atmosphère entre les diverses substances. Dans l'air ambiant, l'ensemble des particules primaires et secondaires est mesuré.

Aucune incertitude n'est évaluée pour les $PM_{1,0}$.

Emissions hors-total

Il est important de noter que, dans les inventaires nationaux, estimer les émissions de $PM_{1,0}$ n'est pas obligatoire et ces émissions n'ont pas besoin d'être rapportées à la Convention LRTAP. De plus, comme pour les autres tailles de particules, certaines émissions de $PM_{1,0}$ sont estimées mais ne sont pas incluses dans le périmètre national. Parmi elles, les émissions anthropiques du transport international aérien, fluvial ou maritime en font partie, ainsi que les émissions naturelles liées aux feux de forêts. D'autres émissions naturelles de particules dues aux volcans, à la foudre, à la végétation et autres, ne sont pas estimées dans l'inventaire français et ne font pas partie du périmètre d'inclusion national. De plus, dans l'inventaire national, la part de particules condensables émise est complexe à estimer dans de nombreux secteurs et est en majorité non incluse.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de $PM_{1.0}$ en France

Tendance générale

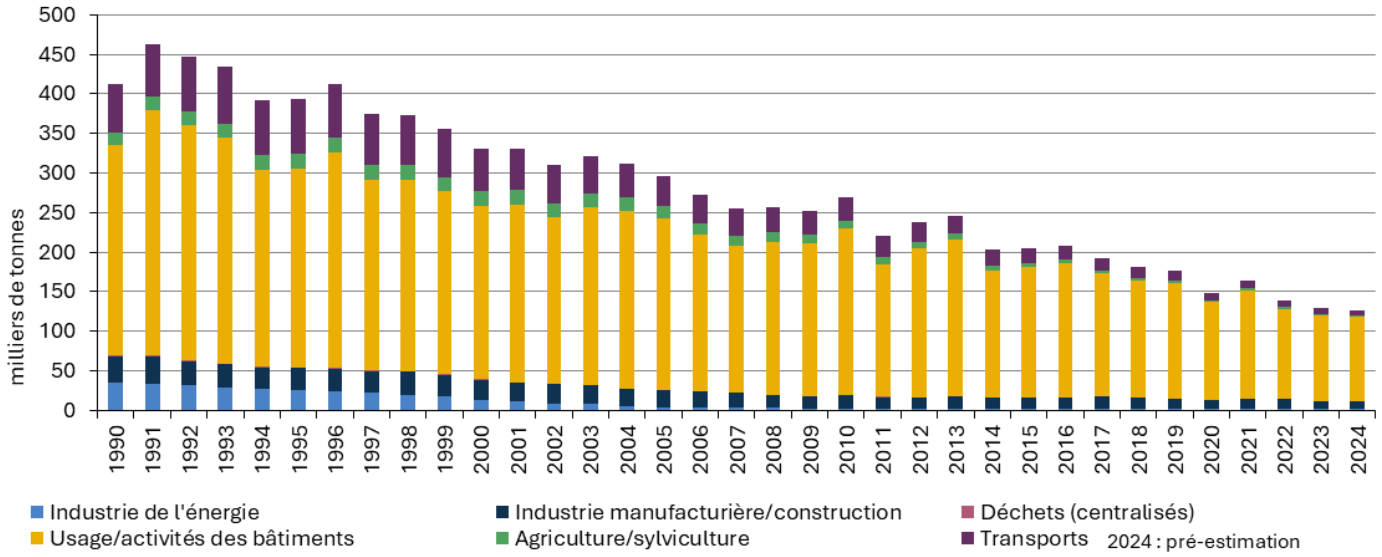
Entre 1990 et 2023, les émissions de $PM_{1.0}$ ont diminué de 69% tous secteurs confondus, passant de 412 kt émises en 1990 à 129 kt en 2023, en France métropolitaine.

Les pré-estimations pour l'année 2024 prévoient également une réduction à un niveau d'émissions de 127 kt de $PM_{1.0}$.

Le niveau actuel des émissions de $PM_{1,0}$ est le plus bas observé depuis 1990, en deçà même de l'année 2020 (marquée par la crise sanitaire et les périodes de confinements successifs).

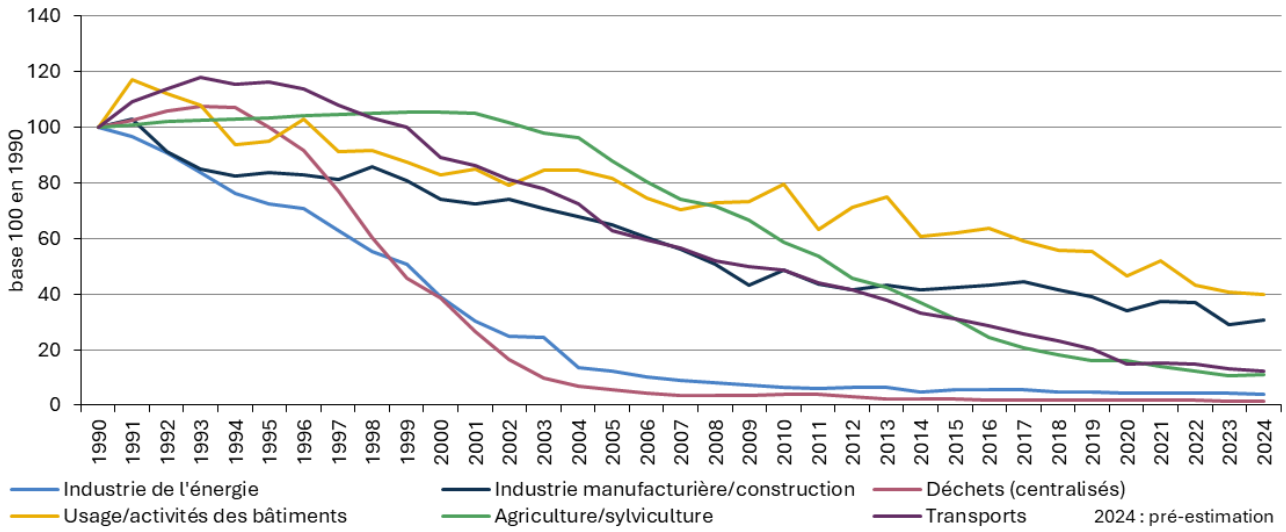
Même si tous les secteurs d'activité contribuent aux émissions de la France métropolitaine, la grande majorité des émissions de $PM_{1,0}$ est issue de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (84% en

2023), principalement due à la combustion du bois et, dans une moindre mesure, du charbon et du fioul. Les émissions de $PM_{1,0}$ des secteurs du transport routier (6% du total national en 2023) et de l'industrie manufacturière (8% du total national en 2023) ne sont pas négligeables pour autant. Dans le secteur du transport routier, elles sont essentiellement liées aux véhicules diesel. Les émissions de l'industrie manufacturière sont principalement engendrées par la construction et la métallurgie de métaux ferreux, et les parts dues aux carrières et au travail du bois ne sont pas négligeables. Pour les autres secteurs, moins émetteurs, comme les secteurs de la transformation de l'énergie, de l'agriculture et du traitement des déchets, les émissions proviennent en grande partie de la combustion de biomasse et de la combustion de carburants dans les engins mobiles non routiers.



Evolution des émissions dans l'air de $PM_{1,0}$ depuis 1990 en France (Métropole)

Sur la période étudiée, les émissions ont baissé de 69%. Cette tendance à la baisse est observée sur l'ensemble des secteurs sauf pour le chauffage urbain (en conséquence du développement de la biomasse), aux autres industries, aux déchets et brûlage domestiques et au transport autres navigations, qui sont en augmentation. Le transport maritime a vu ses émissions de PM baisser, à la suite de la mise en place par l'OMI d'une limite de 0,5% sur le contenu en soufre des combustibles qui impose aux bateaux d'utiliser des combustibles plus propres ou bien des équipements de réductions comme les laveurs qui contribuent à réduire les émissions de PM. Sur la série temporelle, l'année 1991 a un niveau d'émission élevé (maximum observé sur la période) consécutif à, notamment, une forte consommation de bois dans le secteur résidentiel/tertiaire en réponse à un hiver particulièrement rigoureux. La baisse générale observée depuis 1990 est engendrée, d'une part, par l'amélioration des performances des techniques de dépoussiérage dans l'industrie manufacturière et, d'autre part, par les effets de structure, notamment l'amélioration des technologies des appareils domestique pour la combustion de la biomasse (secteur du résidentiel) et l'introduction de filtres à particules en 2011 pour les véhicules diesel et, enfin, par l'arrêt de l'exploitation des mines à ciel ouvert en 2002 et des mines souterraines en 2004 (appartenant au secteur de la transformation d'énergie).



Evolution des émissions dans l'air de $PM_{1,0}$ en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

Lors des dernières années, les émissions globales de $PM_{1,0}$ sont en baisse, même si elles ont légèrement stagné entre 2014 et 2016, notamment à cause du climat et de la consommation domestique de bois associée. En effet, le secteur du résidentiel/tertiaire, principal contributeur des émissions de $PM_{1,0}$, a connu une légère croissance de ces émissions entre 2011 et 2013, puis entre 2014 et 2016, avant de repartir à chaque fois à la baisse. Pour les années 2011, 2014, 2015, 2018, 2019 et 2020, le climat très doux a entrainé une baisse nette de la consommation énergétique du résidentiel/tertiaire, contrairement à 2012, 2013, 2016 et 2021, plus froides, qui montrent un regain des émissions de $PM_{1,0}$. Bien que le climat influe fortement sur les émissions du chauffage résidentiel, à indices de rigueur similaires, le niveau d'émissions de 2019 était plus bas que celui de 2015 d'environ 12%, soulignant les progrès de réduction effectués encore récemment. De façon similaire, pour des hivers plus rigoureux comme ceux de 2012 et 2021, relativement semblables en termes de coefficient de rigueur climatique et de consommation de bois-domestique, les émissions de $PM_{1,0}$ ont été réduites de 29% sur cette même période.

L'année 2020 constitue une situation exceptionnelle en lien avec la crise sanitaire et les confinements, où la réduction des émissions de $PM_{1,0}$ par rapport à 2019 est de 16%. En effet, pendant la crise sanitaire, certains secteurs comme le transport ou l'industrie manufacturière et la construction ont vu leur activité chuter durant l'année 2020 liée à la crise sanitaire, induisant des baisses des émissions de 26% et 12% comparativement à 2019, respectivement. De plus, étant donné la faible rigueur du climat de 2020 (plus bas indice de rigueur sur la période 1990-2020, relativement proche de celui de 2014), le secteur du résidentiel-tertiaire, qui est le plus gros contributeur aux émissions nationales, a connu une réduction de ses émissions de 15% entre 2019 et 2020. Les autres secteurs, moins importants en tant que contributeurs aux émissions totales de $PM_{1,0}$, ont également participé à la réduction globale observée mais dans une moindre mesure.

Pour l'année 2021, un effet rebond est observé et les émissions nationales de $PM_{1,0}$ ont augmenté de 10% comparativement à 2020, en partie dû à la reprise de l'activité dans certains secteurs comme l'industrie manufacturière (+9%), mais aussi et surtout en lien avec la rigueur de l'hiver qui a entraîné une augmentation des émissions du secteur résidentiel, et plus particulièrement du chauffage, de +11%. Néanmoins, le niveau d'émission de 2021 reste inférieur de 7% au niveau pré-covid.

En 2022, puis en 2023, les émissions nationales de $PM_{1,0}$ ont repris leur baisse avec une réduction totale de 21% par rapport au niveau de 2021, en lien notamment avec une diminution importante des émissions dans le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (-22% entre 2021 et 2023).

D'après les pré-estimations réalisées pour l'année 2024, les émissions de $PM_{1,0}$ devraient légèrement diminuer, de 1,6% par rapport à 2023.

Abstraction faite de l'année 2020 (crise sanitaire et confinements), les constats suivants peuvent être faites pour l'évolution récente des émissions :

- la transformation d'énergie et le traitement des déchets sont plutôt stagnants depuis quelques années, malgré l'intensification de l'activité du chauffage urbain et le développement de la biomasse, grâce aux forts progrès réalisés auparavant via des équipements de traitement des fumées.

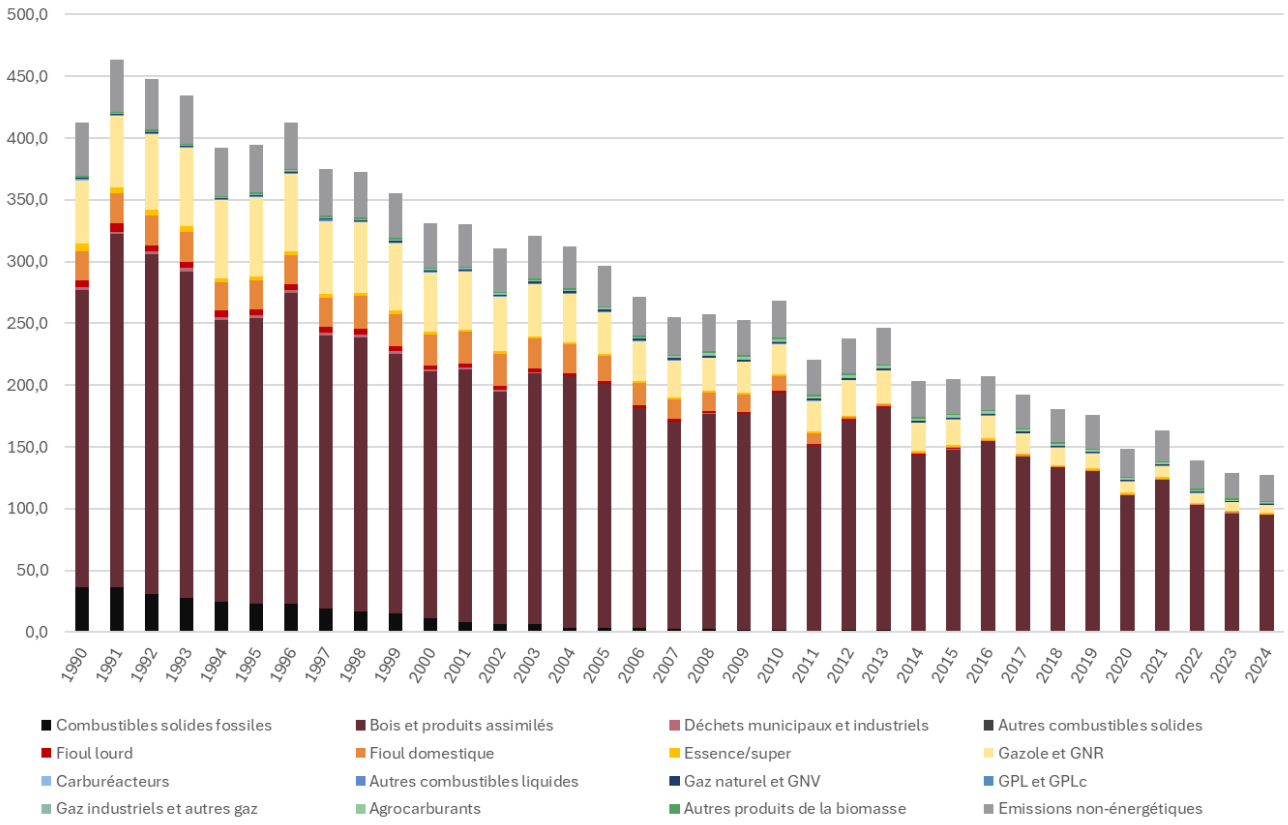
- pour le transport et l'agriculture, les émissions sont en baisse continue même dans les années récentes, notamment grâce aux mesures mises en place pour la combustion de carburants lors de l'échappement des fumées des engins mobiles routiers et non routiers, combinées aux règlementations appliquées aux compositions des carburants. A noter que, contrairement aux particules de plus grande taille, les émissions du secteur de l'agriculture résultent entièrement de la combustion de carburants dans les engins mobiles non routiers ;
- enfin, le secteur de l'industrie manufacturière et de la construction connaît une baisse graduelle depuis 2018 (-30% en 2023, comparativement à 2018, atteignant un niveau de 9,9 kt, notamment grâce à la baisse de la sidérurgie) après avoir été assez stable et avoir oscillé autour de 14-15 kt depuis 2011.

De ce fait, il est donc probable que les émissions de $PM_{1,0}$ continuent de diminuer dans les prochaines années. Les différentes mesures (à venir et existantes) concernant les particules totales en suspension comme les arrêtés sur les installations de combustion et les normes visant les engins mobiles routiers (norme Euro 7/VII à venir) et non routiers (règlement (UE) 2016/1628) devraient permettre de rendre réalisables ces réductions. De plus, des efforts de réduction d'émissions sont rendus possibles grâce à l'optimisation des procédés de combustion et l'existence de technologies de réduction comme les médias filtrants. Il est cependant difficile de prévoir l'évolution des émissions de $PM_{1,0}$ étant donné qu'elles dépendent principalement de la consommation de bois dans le secteur résidentiel, qui varie selon le climat, et qui est prévue de croître encore dans le mix énergétique des prochaines années, notamment dans le cadre des politiques de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre.

Part des émissions liées aux combustibles

La contribution de la combustion de combustibles aux émissions totales de $PM_{1,0}$ est prépondérante, malgré une légère baisse progressive au cours de la période (90% en 1990 contre 84% en 2023). Ceci s'explique par les rythmes irréguliers auxquels les émissions énergétiques et non-énergétiques décroient, avec des réductions respectives de 71% et 51% comparativement à leurs niveaux de 1990. En effet, l'amélioration des rendements énergétiques des procédés et équipements conjointement avec la mise en place de normes et de valeurs limites d'émissions, sur les sources fixes comme mobiles, ont permis d'atteindre de telles réductions.

En ce qui concerne les différents combustibles, la consommation de bois, principalement domestique, est le principal émetteur de $PM_{1,0}$ en France, contribuant à hauteur de 65% en 1990 et 89% en 2023 aux émissions énergétiques. Pourtant, les émissions de la biomasse ont fortement diminué entre 1990 et 2023, atteignant des réductions de 60%, notamment grâce au renouvellement des équipements de chauffage individuel par des équipements plus performants et moins émetteurs. La contribution grandissante du bois est en partie due à la substitution d'autres combustibles par le bois, dans une optique de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'origine fossile. Parmi eux, les combustibles solides fossiles ont été délaissés au fur et à mesure, se traduisant par une baisse de leurs émissions de plus de 98% comparativement à 1990. Les combustibles liquides ont grandement contribué à réduire les émissions de $PM_{1,0}$ des combustibles avec principalement le fioul domestique et le gazole qui ont atteint des réductions respectives de 97% et 87%, notamment grâce aux normes de la combustion mobile (Euro pour véhicules passagers et Stage pour engins mobiles non routiers).



Répartition des émissions de $PM_{1.0}$ par combustible en France (Métropole)

BC | Carbone suie

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Le carbone suie (appelé BC pour Black Carbon mais aussi Elemental carbon) est une composante des particules, issue des processus de combustion incomplète de combustibles fossiles, biomasse et bio-fiouls. Il représente une partie des suies, mélanges complexes de particules contenant du carbone suie et du carbone organique. On nomme black carbon, le carbone élémentaire mesuré par méthode thermo-optique et EC le carbone mesuré par méthode optique. Le carbone suie représente les deux.

Composition chimique
Composé constitué de carbone élémentaire (C) dont la couleur noire absorbe le rayonnement lumineux.

Origine
Sources anthropiques : combustion de combustibles fossiles, biomasse et bio-fiouls. Les sources les plus importantes sont le chauffage domestique au bois et au charbon, le transport routier (Diesel essentiellement), les engins mobiles non routiers, les moteurs de bateaux, le brûlage des résidus agricoles ; les incendies de forêt et de végétation.

Source naturelle : feux de forêt et de végétation.

Phénomènes
Le carbone suie a un pouvoir de réchauffement de l'atmosphère : il absorbe les rayons solaires. Il est ainsi classé parmi les forceurs climatiques à courte durée de vie (SLCF pour *Short-Lived Climate Forcers* en anglais).

Effets

Effet de serre, forçage radiatif positif (mais plus limité que le CO_2 dû à sa courte durée de vie dans l'atmosphère, de 3 à 8 jours)

Santé (troubles des systèmes respiratoire et cardio-vasculaire. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérigènes)

Enjeux

Enjeux sanitaires et environnementaux

Effets sur la santé

Le carbone suie, présente des risques similaires à celles des particules fines auxquelles il est associé, en termes d'impact sanitaire avec une pénétration assez favorable dans le système respiratoire et cardiovasculaire. Le carbone suie représente un certain intérêt dans le suivi de l'impact sanitaire des particules parce qu'il est un bon indicateur des composés toxiques qui peuvent se trouver dans les PM à la suite de la combustion. Cependant, il reste un traceur insuffisant car la toxicité particulaire résulte de la réactivité biologique des composantes organique et métallique et le carbone suie n'est qu'un traceur de la phase organique générée par la combustion incomplète. Le carbone suie a gagné beaucoup d'attention lors des dernières années, principalement à cause de son impact sur la santé humaine et également pour son rôle dans le réchauffement climatique dû à son potentiel d'absorption des rayons UV.

Effets environnementaux

En ce qui concerne l'impact que peut avoir le carbone suie sur l'environnement, plusieurs phénomènes distincts peuvent être considérés, à diverses échelles. Cependant, l'une des caractéristiques principales du carbone suie est qu'il est désigné comme « forceur climatique à courte durée de vie » (SLCF en anglais) étant donné son effet absorbant du rayonnement solaire. Ainsi, en étant transporté sur de grandes distances et déposé sur différentes surfaces, il peut altérer le pouvoir réfléchissant (albedo) de certaines étendues glaciaires notamment et avoir un potentiel réchauffant sur le climat.

► Pour plus d'informations, se référer au paragraphe « Effets sur l'environnement » en début de chapitre.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

► Pour une présentation détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, voir notre rapport méthodologique Ominea.

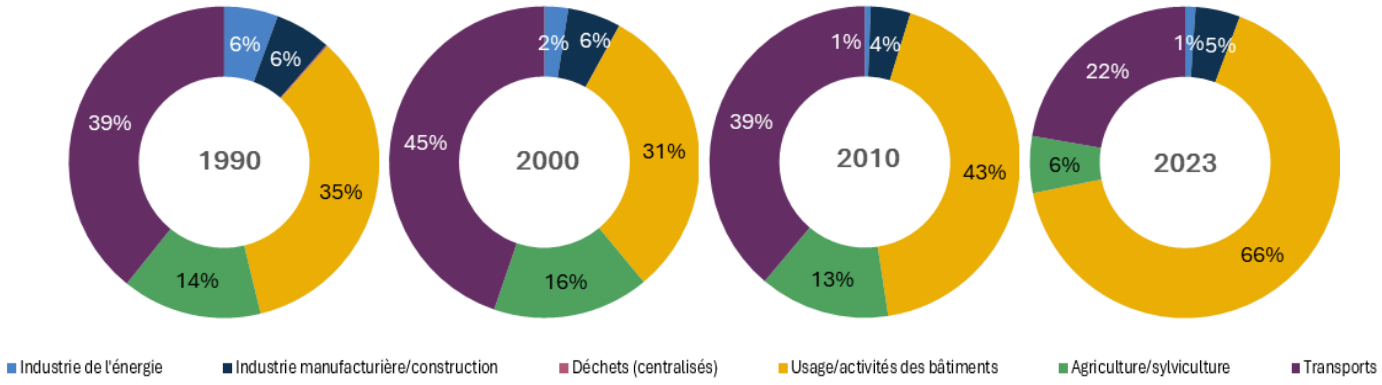
Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant, tous secteurs confondus, à 62% en 2023.

Emissions hors-total

Il est important de noter que, dans les inventaires nationaux, estimer les émissions de BC est recommandé mais non obligatoire et ces émissions ne doivent pas nécessairement être rapportées à la Convention Air (CLRTAP). Ces règles pourraient évoluer dans le futur avec l'intérêt grandissant envers le BC.

Dans l'inventaire national, comme pour les autres types de particules, certaines émissions de BC sont estimées mais ne sont pas incluses dans le périmètre national. Parmi elles, les émissions anthropiques des transports internationaux aérien, fluvial ou maritime en font partie, ainsi que les émissions naturelles liées aux feux de forêts.

Principaux secteurs émetteurs



Répartition des émissions de BC en France (Métropole)

Tendance générale

Ainsi entre 1990 et 2023, les émissions de BC ont diminué de 69% tous secteurs confondus, passant de 82 kt émises en 1990 à 26 kt en 2023, en France métropolitaine.

Les pré-estimations pour l'année 2024 prévoient également une réduction atteignant un niveau de 25 kt de BC.

Le niveau des émissions de carbone suie en 2023, en France métropolitaine, est le plus faible observé depuis 1990, en deçà même de l'année 2020 (pourtant marquée par la crise sanitaire et les confinements successifs).

Les émissions de ce polluant sont générées par tous les secteurs, mais principalement par les suivants avec, pour l'année 2023 :

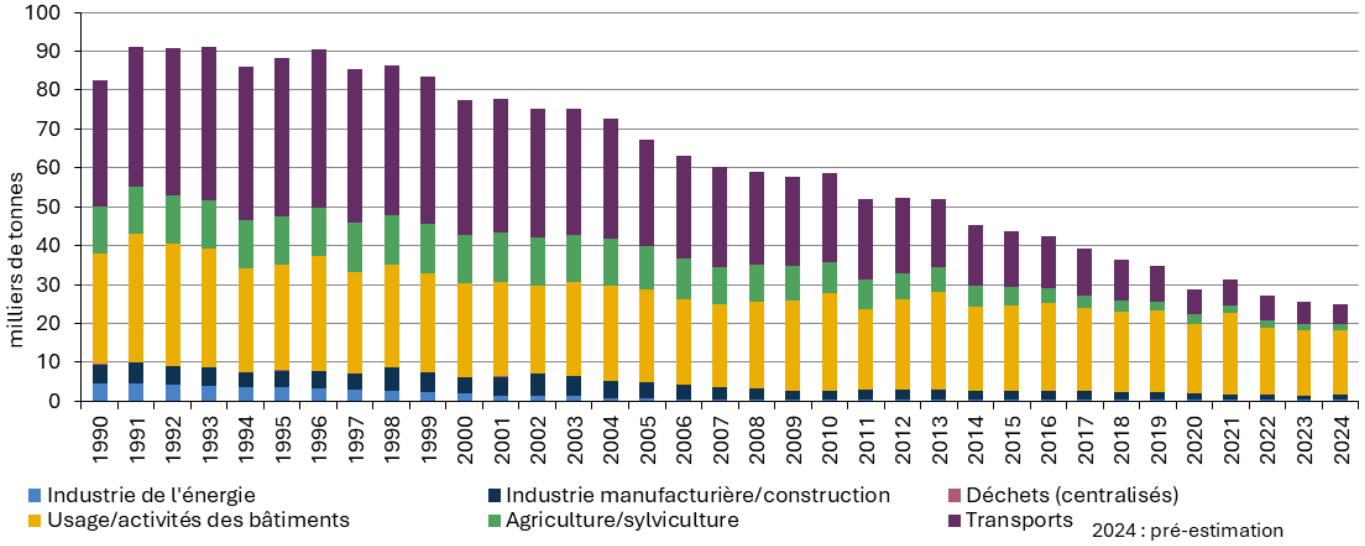
- Le résidentiel/tertiaire, à hauteur de 66%, dont la principale source est la combustion de bois ;
- Le transport routier, à hauteur de 22%, dû en grande majorité à la combustion du gasoil ;
- L'agriculture, dans une moindre mesure (6%), du fait notamment de la combustion de résidus de récolte et de la combustion de carburants dans les engins mobiles non routiers.

Les autres secteurs, que sont l'industrie manufacturière, la transformation d'énergie et le traitement des déchets, sont tous émetteurs de carbone suie mais dans de moindres mesures (5,7% des émissions totales de BC à eux tous en 2023). Parmi eux, les principaux sous-secteurs responsables de ces émissions sont la construction, les autres industries manufacturières et la transformation de combustibles solides. Jusqu'aux fermetures consécutives des mines à ciel ouvert et souterraines, le sous-secteur de l'extraction et distribution de combustibles solides était un des principaux émetteurs.

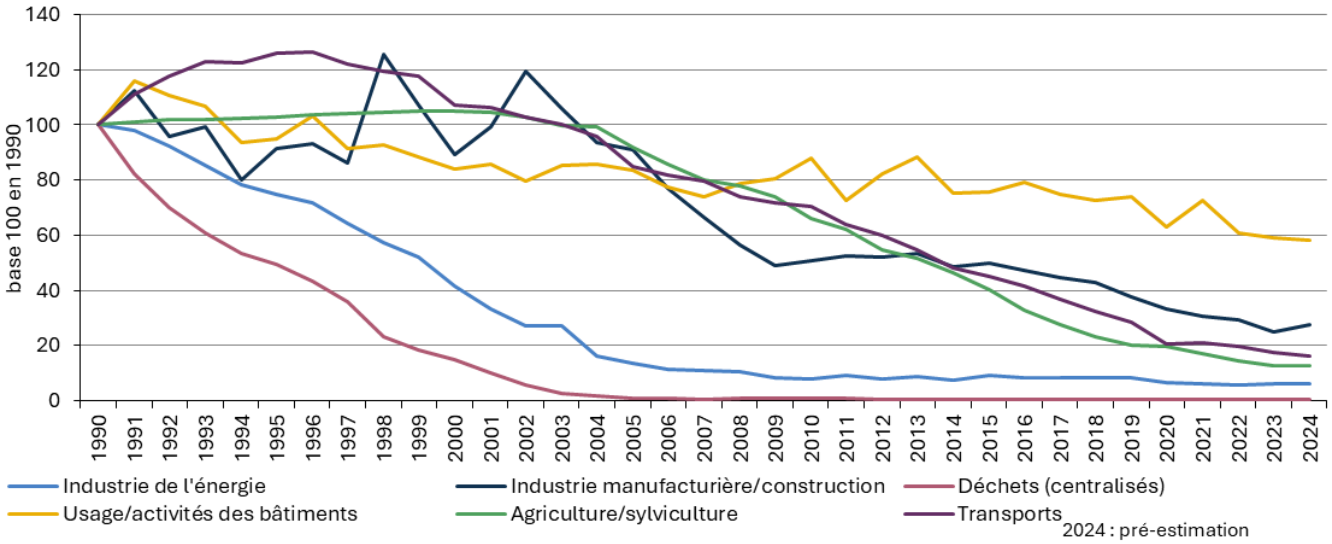
La répartition des émissions entre les différents secteurs a quelque peu évolué depuis 1990, avec le secteur du résidentiel-tertiaire qui a gagné en importance (35% des émissions nationales en 1990 contre 66% en 2023), en dépit des autres secteurs, comme le secteur de la transformation d'énergie qui a nettement diminué dû notamment à la fermeture des mines (6% en 1990 contre 1% en 2023).

Néanmoins, les émissions totales de carbone suie suivent la tendance historique de diminution des autres particules et ont été réduites de 69% entre 1990 et 2023, grâce notamment aux contributions conjointes de tous les secteurs mais notamment de la combustion des

sources mobiles avec le trafic routier et les engins mobiles non routiers, ainsi que le chauffage résidentiel.



Evolution des émissions dans l'air de BC depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de BC en base 100 en 1990 en France (Métropole)

Évolution récente

Au cours des dernières années, les émissions globales de carbone suie ont subi une baisse continue, principalement due aux fortes réductions des émissions dans les secteurs du transport routier, du chauffage domestique au bois et de l'agriculture/sylviculture. En effet, en ce qui concerne le secteur du transport routier, les émissions sont en constante régression, en partie due aux mesures mises en place pour limiter les émissions de PM à l'échappement. En revanche, les émissions de carbone suie liées à l'usure de la route, des pneus et des freins, stagnent, voire augmentent légèrement avec la croissance du trafic. Pour le secteur de l'agriculture/sylviculture, les réductions d'émissions se font notamment grâce aux valeurs limites d'émissions instaurées pour les engins mobiles non routiers, tandis que les émissions liées à la combustion des résidus de récolte stagnent depuis quelques années.

Lors des années récentes, les émissions de carbone suie du secteur résidentiel/tertiaire sont fluctuantes (légères hausses entre 2011 et 2013, et entre 2014 et 2016, suivies de baisses). Ceci peut s'expliquer par la variabilité climatique annuelle et durant les années 2011, 2014 et 2015 et 2020, le climat très doux a entrainé une baisse nette de la consommation énergétique du résidentiel/tertiaire, contrairement à 2012, 2013, 2016 et 2021, plus froides, qui montrent un regain des émissions. Les années 2018 et 2019 ont présenté un climat relativement doux qui a permis, conjointement avec les efforts entrepris, de continuer la baisse des émissions observée.

Pour l'année 2020, les émissions de BC ont fortement été réduites (-17% comparativement à 2019), notamment dû à la réduction d'émissions de 28% du secteur du transport (et particulièrement le transport routier), qui représentait presque 26% du total national en 2019. Le secteur résidentiel-tertiaire a contribué à cette baisse observée avec -15% de réduction, entre 2019 et 2020, probablement dû majoritairement à la douceur de l'hiver 2020 et à la mise sur le marché d'appareils indépendants de chauffage plus performants.

En 2021, les émissions nationales de BC sont reparties à la hausse (+9% comparativement à 2020), majoritairement dû à la rigueur de l'hiver et l'augmentation des émissions du chauffage résidentiel (+16% d'émissions de BC entre 2020 et 2021, alors qu'il représentait 62% des émissions nationales en 2020) et, dans une moindre mesure, du secteur des transports avec la reprise du trafic routier (+4% d'émissions de BC entre 2020 et 2021).

En 2022, puis en 2023, les émissions nationales de carbone suie ont repris leur baisse, atteignant une réduction agrégée de 19% par rapport à 2021, en lien notamment avec une diminution importante des émissions dans le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (-19%).

Les émissions pré-estimées de l'année 2024 indiquent à nouveau une baisse, de 2,5%, des émissions nationales de carbone suie.

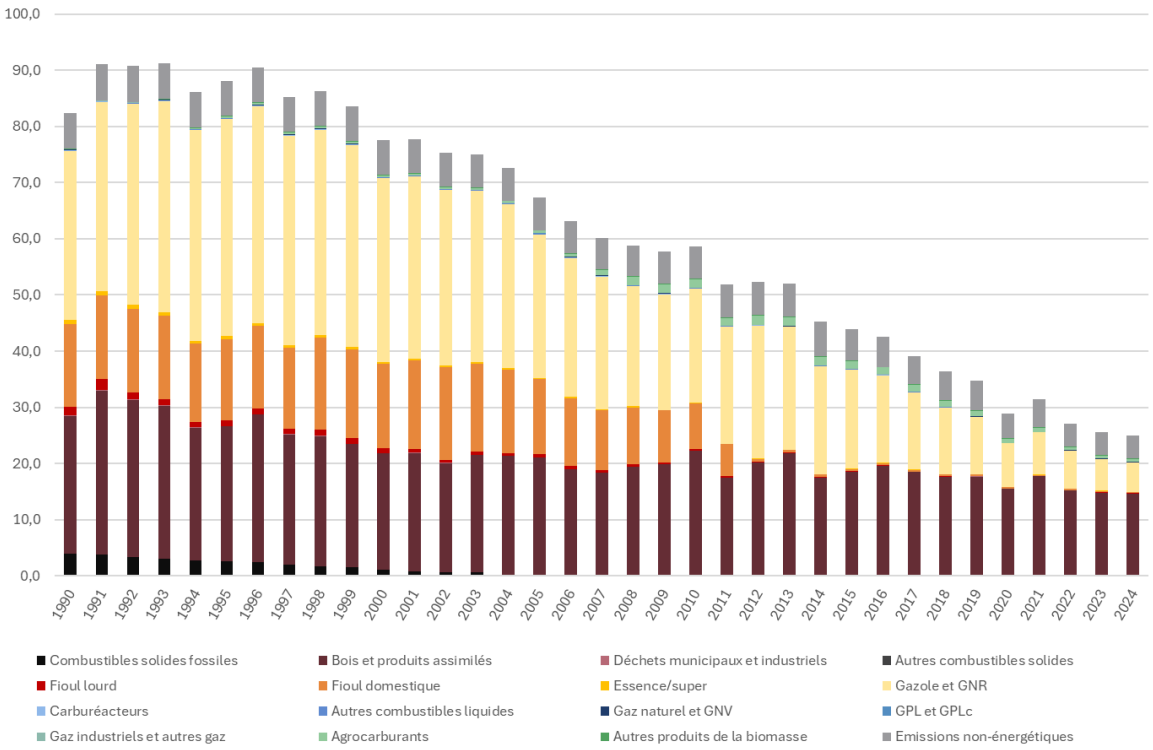
Cependant, en faisant abstraction du contexte spécifique de l'année 2020 (crise sanitaire et confinement), une continuité dans les réductions globales des émissions de carbone suie est probable dans les prochaines années. Pour y parvenir, il faudra compter sur les différentes mesures existantes visant les particules totales en suspension comme le plan bois incitant le renouvellement des équipements individuels de combustion de bois, les arrêtés sur les installations de combustion et les normes d'émissions visant les engins mobiles routiers (normes Euro 7/VII qui devraient être adoptées) et non routiers (règlement (UE) 2016/1628), et sur des mesures supplémentaires. Le carbone suie étant le résultat de la combustion incomplète de matières carbonées, l'amélioration des rendements énergétiques des procédés de combustion et les technologies de réduction existantes devraient également contribuer à réduire ces émissions.

Part des émissions liées aux combustibles

La combustion de combustibles contribue de façon majeure aux émissions nationales, bien que leur part diminue progressivement au cours de la période (92% en 1990 contre 84% en 2023). Ceci est lié notamment aux progrès disparates réalisés entre les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 72% et 37% comparativement à leurs niveaux de 1990. En effet, l'évolution des technologies et la mise en place de normes sur les installations de combustion ont permis des progrès considérables, qui ne sont pas toujours aussi facilement identifiables et réalisables pour des émissions comme celles dues à l'abrasion des routes, des pneus et des freins ou encore celles liées aux labours.

Parmi les combustibles, la consommation de bois est le principal contributeur aux émissions de BC, représentant environ 32% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 69% en 2023. La combustion de bois a connu une réduction d'émissions de BC de 40% entre 1990 et 2023, participant grandement à l'effort de réduction observé notamment grâce aux progrès technologiques et à la mise en place de normes d'émissions sur les équipements de chauffage individuel mis sur le marché.

Néanmoins, la réduction principale des émissions de BC est attribuable aux fioul domestique et gazole/GNR, qui ont fortement diminué leur contribution. Les consommations de fioul domestique et de gazole/GNR, qui représentaient respectivement 19% et 40% des émissions de BC en 1990, ont connu des réductions d'émission respectives de 99% et 81% entre 1990 et 2023. La part croissante des émissions du bois est en partie due à la substitution progressive des combustibles solides fossiles (-99% des émissions de BC depuis 1990) et également à la substitution du fioul domestique par le gazole non routier dans les engins mobiles non routiers, et enfin l'introduction de filtres à particules pour les véhicules diesel à partir de 2011 et de normes pour les engins mobiles non routier.



Répartition des émissions de BC par combustible en France (Métropole)

Production d'énergie

Rédaction : **Grégoire BONGRAND, Niels MONTANARI**

En bref

Le secteur de l'industrie de l'énergie comprend les émissions de la production d'énergie (centrales électriques, production de chaleur, incinération de déchets avec récupération d'énergie), les émissions liées à la transformation d'énergie (raffineries, transformation de combustibles minéraux solides...) et l'extraction et la distribution d'énergie (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.). Les émissions de ce secteur ont diminué depuis 1990 du fait de l'évolution du mix énergétique français, par le recours à l'énergie nucléaire et la part grandissante des énergies renouvelables, mais aussi du fait de la réglementation visant les installations de combustion. Ce secteur est concerné par des objectifs de réduction des émissions, que ce soit dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP en anglais), des directives relatives aux Grandes Installations de Combustion (GIC) et aux émissions industrielles (IED en anglais), pour les polluants atmosphériques, ou bien du Système d'Echange de Quotas d'Emission de l'Union européenne (SEQE) ou encore de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) pour les gaz à effet de serre.

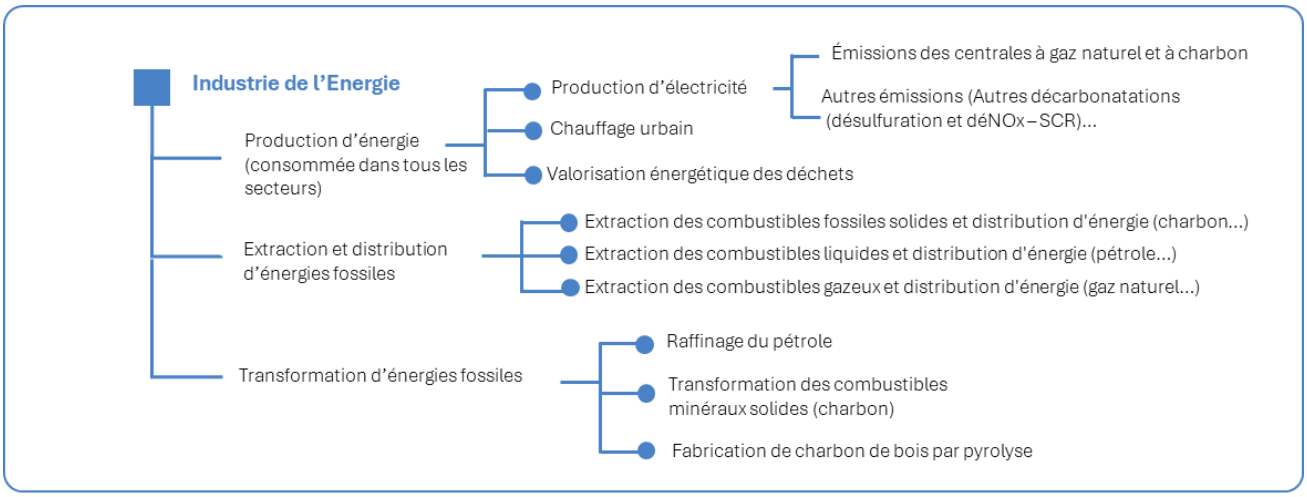
Description du secteur

Panorama et enjeux

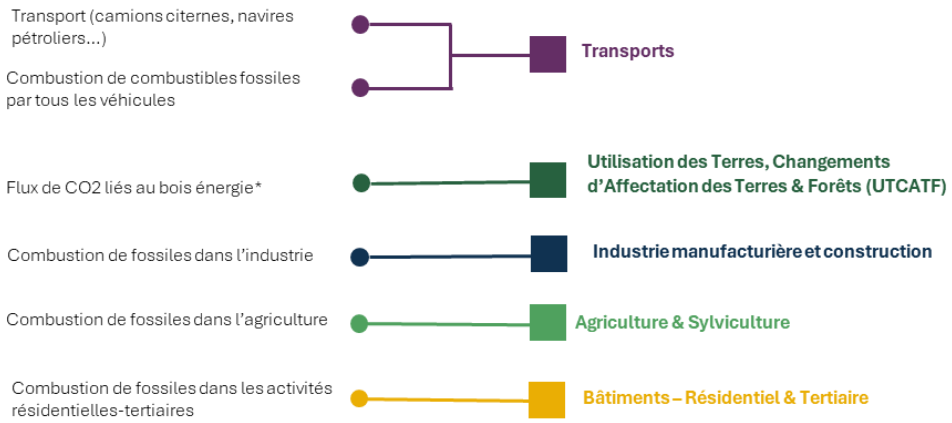
Le secteur de l'extraction, production, transformation et distribution d'énergie, souvent dénommé industrie de l'énergie, est un secteur qui regroupe de nombreuses activités. Il intègre les sources de combustion (chaudières, turbines, moteurs, fours), les sources de décarbonatation du fait des carbonates utilisés pour la désulfuration, les procédés de réduction des oxydes d'azote avec de l'urée, ainsi que les émissions fugitives. Il est important de noter que le secteur « Industrie de l'énergie » de Secten diffère des secteurs « Energie » des rapports pour la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) ou pour la Convention Economique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-NU) où sont incluses en supplément toutes les émissions liées à la combustion de combustibles, y compris celles des secteurs du transport, du résidentiel-tertiaire, de l'industrie manufacturière, de l'agriculture et du militaire.

Ce secteur se décompose en plusieurs secteurs et sous-secteurs :

- « Production d'énergie » : production d'électricité centralisée*, production de chaleur destinée aux réseaux de chaleur urbains, incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie ;



comptabilisé dans d'autres secteurs :



** A noter que les émissions de CO2 liées à la combustion de biomasse, comptabilisées en UTCATF, sont aussi présentées, à titre d'information, par secteur consommateur dans les données Secten – onglet « CO2 biomasse »*

- « Transformation d'énergie » : raffinage du pétrole, transformation de combustibles minéraux solides des mines et de la sidérurgie, et autres secteurs de la transformation d'énergie comme la transformation du bois en charbon de bois ;
- « Extraction et distribution d'énergie » : extraction et distribution des combustibles fossiles solides, liquides et gazeux, et extraction et distribution d'autres énergies comme la géothermie.

***Autoproduction**

Les émissions de GES liées à la combustion de combustibles pour l'autoproduction d'électricité, pour les installations dont cela ne représente pas l'activité principale (i.e., hors NAF 35), sont comptabilisées dans les secteurs où cette autoproduction a eu lieu, comme pour la chaleur.

Le sous-secteur « Transformation des combustibles minéraux solides – mines » recouvre les émissions liées à la combustion dans les mines de charbon ainsi que les émissions des cokeries minières ; les émissions fugitives des mines sont rapportées dans « Extraction des combustibles fossiles solides et distribution d'énergie ». Le sous-secteur « Transformation des combustibles minéraux solides – sidérurgie » rassemble quant à lui les émissions liées aux cokeries sidérurgiques (localisées sur les sites intégrés). Le tableau dans le sous-chapitre « Liste des sources incluses dans ce secteur » à la fin de cette section détaille plus amplement les sources d'émissions couvertes dans chaque sous-secteur.

Les émissions du secteur de l'industrie de l'énergie en France métropolitaine ont globalement diminué sur la période 1990-2023, aussi bien pour les polluants que pour les gaz à effet de serre (notamment -53% de CO_2e).

Évolution du secteur

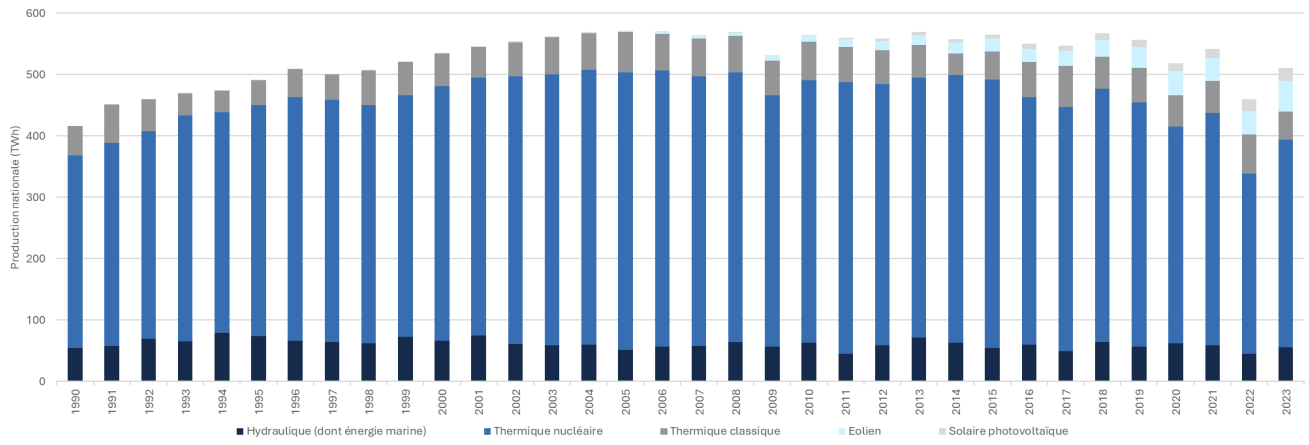
Production d'électricité décarbonée

La baisse observée des émissions s'explique principalement par l'évolution du mix électrique de production, avec le développement marqué des centrales nucléaires puis des centrales thermiques au gaz naturel et de nouvelles sources d'énergie renouvelables ces dernières années, ainsi que l'abandon progressif des combustibles minéraux solides en tant que source d'énergie. En France métropolitaine, la production d'électricité à partir centrales thermiques à flamme en France a très fortement baissé, de 65% au moment du premier choc pétrolier en 1973 à 12% en 1990 après le développement de la majeure partie du parc nucléaire français, et n'a représenté que 9% de la production totale en 2023. Par ailleurs, s'agissant de la consommation de combustibles pour la production d'électricité en France UE entre 1990 et 2023, la part du charbon a baissé de 75% à 8%, alors que celle du gaz naturel est passée de 0,2% à 55%, et les consommations de charbon et de fioul ont désormais davantage lieu en Outre-mer qu'en France métropolitaine.

Une réduction de la production annuelle des réacteurs nucléaires a été observée ces dernières années, en raison d'arrêts plus fréquents et plus longs dans le cadre du programme du « grand carénage » (RTE 2020), de l'arrêt définitif des deux tranches de la centrale de Fessenheim en 2020, et des arrêts pour maintenance et contrôle à partir de 2021 en lien avec des problèmes de fissuration par corrosion sous contrainte. Cependant, cette tendance s'inverse quelque peu en 2023 et 2024, où la production d'électricité nucléaire est repartie à la hausse et a augmenté de 43 TWh et 41 TWh, respectivement (soit +15% entre 2022 et 2023, et +13% entre 2023 et 2024), grâce à une meilleure disponibilité du parc nucléaire, ce qui explique en partie la hausse de la production d'électricité totale sur ces périodes également (+11% entre 2022 et 2023, et +8% entre 2023 et 2024).

Les diverses filières de production d'énergie renouvelable ont toutes connu une hausse également sur cette période. Ainsi, suite à un niveau historiquement élevé pour la filière hydraulique (le plus élevé observé depuis 2013), ainsi qu'à une croissance soutenue de la filière solaire photovoltaïque et éolienne, la filière renouvelable a atteint un record en 2024 avec presque 28% de la production totale. Cela a notamment permis d'avoir moins recours à la production d'électricité fossile, qui atteint le niveau le plus faible observé depuis le début des années 1950. Ainsi, la production d'électricité bas-carbone a représenté plus de 95% de la production de la France en 2024. Bien que la consommation d'électricité soit repartie très légèrement à la hausse en 2024 (+0,7% par rapport à 2023), l'augmentation du niveau de production permet d'assurer que la France est toujours un pays nettement exportateur d'électricité, atteignant un niveau record de 89 TWh exportés, permettant d'éviter presque 20 Mt CO_2e émises en substituant des productions fossiles dans les pays voisins (RTE 2024).

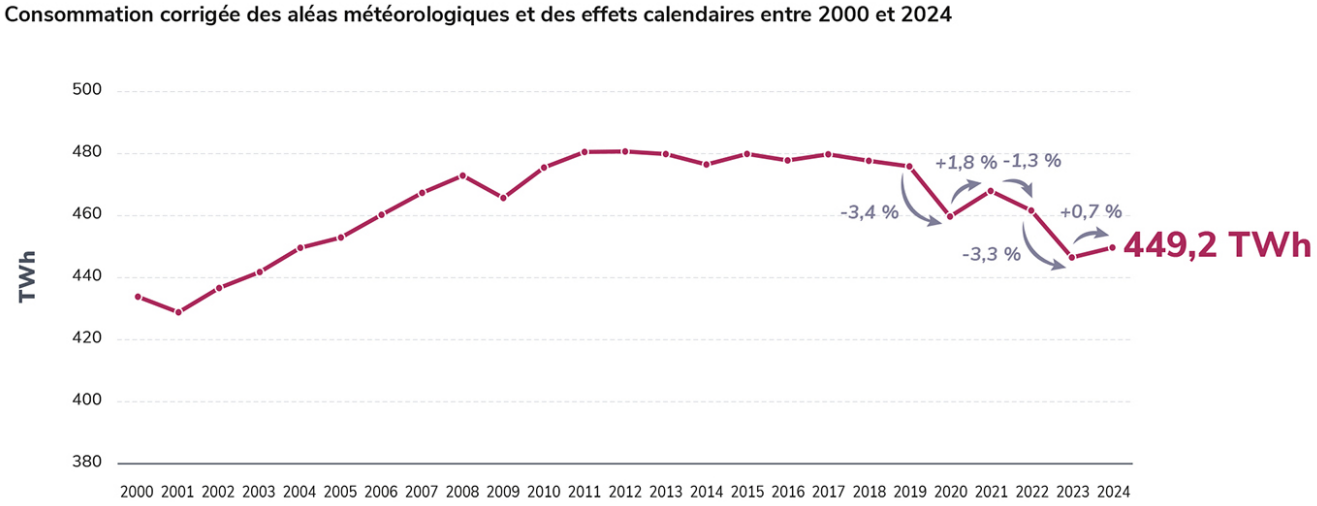
D'après Enedis et les données d'Open Data Réseaux Énergies (ODRÉ), l'évolution de la capacité de production d'électricité en France en 2023, par rapport à 2022, montre une augmentation notable. Le nombre d'installations éoliennes a augmenté de 4% (+10% en termes de puissance installée), les installations photovoltaïques ont connu une hausse de 31% (+24% en termes de puissance installée).



Production d'électricité en France métropolitaine depuis 1990, par moyen de production

Consommation d'électricité

D'après RTE, après trente années de croissance (1990-2019), la consommation d'électricité corrigée des aléas climatiques en France a été en baisse entre 2020 et 2023, avec un niveau en 2023 qui était semblable à ceux du début des années 2000.Ce niveau de consommation est inférieur à ceux de la période 2014-2019, période déjà marquée par un ralentissement global. Ce ralentissement progressif, particulièrement notable entre 2010 et 2020, s'explique par le ralentissement économique post-crise de 2008, une croissance démographique plus faible, la tertiarisation de l'économie, la modification du tissu industriel, et des mesures renforcées d'efficacité énergétique. La crise sanitaire de 2020 a provoqué une forte diminution de la consommation, atteignant son plus bas niveau depuis 2005. Malgré une reprise en 2021, la consommation en 2022 a stagné au niveau de 2020 en raison des efforts de sobriété et de la pression inflationniste. Les baisses de consommation entre 2019-2020 (-3,7%) et entre 2022 et 2023 (-3,2%) sont les plus importantes depuis 1946. Si le ralentissement passé est dû à des facteurs structurels, la baisse depuis 2020 est liée aux crises sanitaires et énergétiques, avec des effets durables sur les comportements et les équipements et l'augmentation des prix de l'électricité. En revanche, en 2024, la consommation d'électricité corrigée des effets météorologiques et calendaires a été en très légère hausse (+0,7% comparé à 2023), sous l'effet d'un contexte macroéconomique légèrement plus favorable. Cependant, ce niveau reste toutefois inférieur de 6% par rapport à la moyenne de ceux de la période 2014-2019. A l'avenir, la consommation d'électricité pourrait cependant augmenter à nouveau du fait de l'électrification de plusieurs secteurs du fait des mesures de décarbonation.



Evolution entre 2005 et 2024 de la consommation d'électricité, corrigée des effets météorologiques et calendaires (RTE)

Effet des règlementations et des politiques de réduction des émissions

L'évolution globale des émissions est aussi due à l'évolution des réglementations et à la mise en conformité progressive des installations qui ont permis des progrès majeurs dans la réduction d'émissions. En effet, les différentes conventions internationales comme la CCNUCC et le Protocole de Kyoto visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que la CLRTAP et le Protocole de Göteborg pour les polluants atmosphériques, conjointement aux règlementations internationales, européennes, nationales et parfois même régionales qui en ont découlé, ont fixé certains objectifs à atteindre en termes de réduction d'émissions. Entre autres, la politique énergie-climat de l'Union européenne a instauré également le SEQE, couvrant divers secteurs de l'industrie, qui vise à réduire les émissions de GES de ces installations de 62% d'ici 2030 (selon le nouvel objectif global de l'Union Européenne de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 55% net en 2030 par rapport à 1990), par rapport aux niveaux de 2005. Pour les polluants atmosphériques, les directives GIC et IED ont favorisé de fortes réductions d'émissions de l'industrie de l'énergie, notamment dans le but d'atteindre les plafonds d'émissions de 2020 de la directive NEC (*National Emission Ceiling Directive* en anglais) puis la directive UE/2016/2284, qui étaient pour la France de -55% pour le SO_2, de -50% pour les NO_x, de -27% pour les $PM_{2.5}$, de -43% pour les COVNM et de -4% pour le NH_3, par rapport aux niveaux de 2005, et qui ont tous bien été atteints. Pour 2030, ces mêmes objectifs de réduction sont de -77% pour le SO_2, de -69% pour les NO_x, de -57% pour les $PM_{2.5}$, de -52% pour les COVNM et de -13% pour le NH_3.

Toutes ces conventions et règlementations, ainsi que d'autres supplémentaires, ont donc permis in fine de

réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques, du secteur de l'industrie de l'énergie notamment, qui a été l'un des premiers et des plus concernés. Bien que des progrès conséquents aient déjà été réalisés dans ce secteur, l'abaissement des valeurs limites d'émissions (VLE) imposées, ainsi que l'implémentation de nouvelles directives comme récemment la directive MCP (Medium Combustion Plant en anglais) pour les moyennes installations de combustion, associées aux progrès technologiques et à l'optimisation des procédés énergétiques, devraient permettre d'atteindre des niveaux d'émissions encore plus faibles à l'avenir.

▶ Pour plus d'informations concernant les différentes conventions, règlementations et directives, aux différentes échelles, voir le chapitre Politiques air.

Effets conjoncturels : crises sanitaire et énergétique, et coefficient de rigueur hivernale

Le recul des émissions de l'industrie de l'énergie en France métropolitaine en 2020 est également partiellement dû à la crise sanitaire de la Covid-19, où une baisse de la production d'électricité de 7% a été observée entre 2019 et 2020 (ce qui constituait le niveau de production le plus bas observé depuis 2000, avant que ceux de 2022 et 2023 soient inférieurs), tout comme la quantité de brut traité en raffineries (-28,8% entre 2019 et 2020). Après cette baisse observée en 2020, et un rebond partiel en 2021 versus 2020 (+2 Mt CO_2e soit +5%), les émissions de GES du secteur de la production d'énergie ont augmenté de 2,5% en 2022, notamment à cause du sous-secteur de la production centralisée d'électricité, et ce, malgré la baisse de la production totale d'électricité et le faible coefficient de rigueur de l'année 2022. Ceci est dû à un manque de disponibilité des filières nucléaire et hydraulique. En 2023, les émissions de GES de l'industrie de l'énergie ont fortement diminué (-16% comparé à 2022), pour atteindre un niveau historiquement faible, grâce notamment à la baisse de celles liées à la production électrique, malgré un coefficient de rigueur en légère hausse comparé à 2022 (qui reste cependant relativement faible). Cela s'explique par la disponibilité accrue de la filière nucléaire (cf. section *Production d'électricité décarbonée*).

D'après nos premières estimations, en 2024, les émissions totales de GES de l'industrie de l'énergie devraient diminuer encore de façon significative, de 10% comparativement à 2023, dû à la production d'électricité centralisée où les émissions chuteraient de 25%, malgré l'augmentation de la production d'électricité, dû au niveau exceptionnellement élevé de la disponibilité des filières décarbonées.

Objectifs nationaux pour le développement de l'énergie nucléaire et des énergies renouvelables

Les quatre grands axes de la stratégie énergétique française présentés par le Président de la République à Belfort le 10 février 2022 sont les suivants : sobriété énergétique, efficacité énergétique développement des énergies renouvelables et relance de la filière nucléaire. Sur le volet sobriété, un plan de sobriété s'est décliné en 2022 et 2023. Sur le volet de développement des énergies renouvelables, une loi d'accélération a été promulguée le 10 mars 2023. Elle facilite les procédures administratives pour accélérer la construction de nouveaux réacteurs de type EPR2 (*evolutionary power reactor* 2 en anglais), prévus sur des sites nucléaires existants. Plusieurs mesures traitent aussi de la planification énergétique ou de la prolongation des centrales anciennes. Surtout, la loi supprime l'objectif de réduction à 50% de la part du nucléaire dans le mix électrique à l'horizon 2035. Sur le volet de la relance du nucléaire, une autre loi a été promulguée le 22 juin 2023. Elle vise à faciliter l'installation d'énergies renouvelables pour permettre de rattraper le retard pris dans ce domaine. En 2020, la France était le seul pays à ne pas avoir atteint le chiffre fixé par l'Union européenne de 23% de part de renouvelables.

Emissions incluses dans ce secteur

Sources d'émissions

Le secteur de l'industrie de l'énergie regroupe les activités de combustion dans diverses installations, les procédés énergétiques comme le raffinage du pétrole ou la synthèse de coke de houille, les activités d'extraction de combustibles ou d'autres énergies (e.g., la géothermie), les activités de distribution de ces combustibles et autres énergies (e.g., pipelines, stations-services, etc.), les consommations de carbonates utilisés pour la désulfuration, et les procédés de réduction des oxydes d'azote avec de l'urée. Les

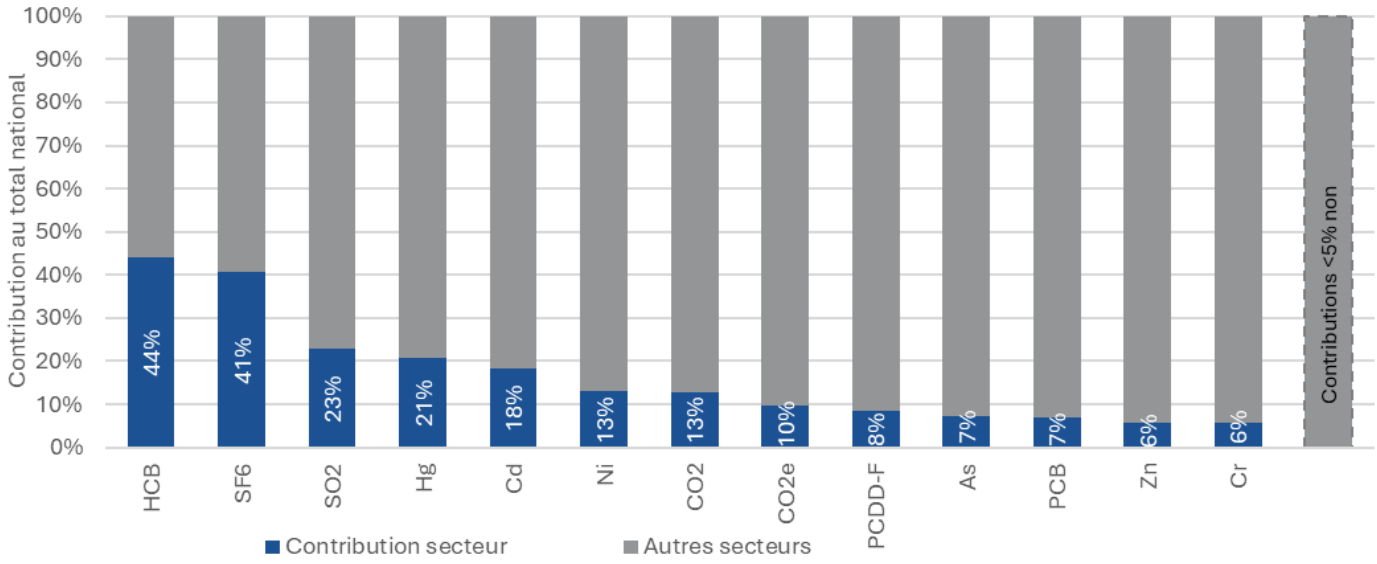
émissions des usines d'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie pourraient être supposées dans la catégorie « Déchets » mais sont bien incluses dans le secteur « Industrie de l'énergie ».

Concernant la combustion dans l'industrie de l'énergie, différents types d'installation sont à considérer : les chaudières, les turbines à gaz, les moteurs, les fours de distillation, les fours à coke et les incinérateurs de déchets non dangereux. Afin d'estimer de façon précise les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, il est important d'identifier les consommations respectives de ces différentes installations, ainsi que leurs différentes caractéristiques pouvant influer sur les émissions comme le type d'équipement, sa puissance nominale ou les éventuelles techniques d'abattement.

Parmi les étapes marquantes de l'évolution des émissions de l'industrie de l'énergie, sont à noter :

- l'arrêt de l'exploitation des mines à ciel ouvert en 2002, suivi par celui des mines souterraines en 2004 ;
- l'abandon progressif des centrales à charbon en parallèle du développement croissant des centrales thermiques au gaz naturel et des systèmes de production d'énergies renouvelables ;
- la fermeture de plusieurs raffineries de pétrole (9 entre 1980 et 1985, puis 6 depuis 2003) et, la conversion en bioraffinerie de la raffinerie de la Mède, n'en laissant que 7 actuellement en activité, dont une située en Martinique ;
- l'intensification du secteur du chauffage urbain (+20% de consommation énergétique entre 1990 et 2023, +25% en moyenne sur les cinq dernières années) et le développement de la cogénération depuis le début des années 2000 ;
- l'arrêt de l'activité de raffinage de gaz en 2014, qui était réalisée par une unique installation qui traitait le gaz issu du gisement de Lacq ;
- la crise énergétique de 2021-2023 liée à la reprise économique après la pandémie de Covid-19 et à l'invasion russe de l'Ukraine et, dans le même temps, à la mise à l'arrêt temporaire de plusieurs réacteurs nucléaires à la suite de la découverte de phénomènes de corrosion sous contrainte, qui ont entrainé une baisse de la consommation d'énergie et un recours accru au charbon pour les productions centralisées d'électricité et de chaleur.

Principales substances émises par le secteur



Substances pour lesquelles le secteur de l'industrie de l'énergie contribue pour au moins 5% aux émissions en 2023

Substances émises

Les substances émises et estimées dans ce secteur sont les suivantes :

- Gaz à effet de serre : CO_2, CH_4, N_2O,
- Gaz fluorés : HFC et SF_6 (seulement pour la production d'électricité),
- Acidification, eutrophisation et pollution photochimique : SO_2, NOx, NH_3, COVNM,
- Métaux lourds : As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn,
- Polluants organiques persistants : PCDD-F, HAP, PCB, HCB,
- Particules : TSP, PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$, BC.

Il faut noter que seules les émissions résultantes d'une activité ayant eu lieu sur le territoire français sont incluses. Les émissions « importées », ayant lieu à l'international ne sont pas comptabilisées dans le total Secten. Par exemple, si de l'électricité produite à l'étranger est consommée sur le territoire français, les émissions ne sont pas comptabilisées dans les totaux nationaux. A l'inverse, si des produits raffinés en France sont exportés à l'international, les émissions liées au raffinage sont attribuées à la France, alors que celles liées à la combustion des produits pétroliers sont comptabilisées pour le pays consommateur. Pour plus de précisions, consulter le chapitre abordant les différences entre l'inventaire national et l'empreinte carbone.

L'industrie de l'énergie a fortement réduit ses émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques depuis 1990 et a grandement contribué aux réductions nationales observées. Cependant, pour certaines substances, sa contribution aux émissions nationales reste relativement élevée. En effet, la production d'électricité seule représente 41% des émissions nationales de SF_6, notamment à cause des isolants thermiques utilisés dans les disjoncteurs et transformateurs électriques. Suite à la presque suppression des émissions de HCB dans le secteur de l'agriculture, notamment en lien avec l'application d'engrais minéraux, les émissions de HCB liées à l'incinération des déchets avec valorisation énergétique sont devenues prépondérantes et représentent 44% des émissions nationales en 2023. Bien que des réductions drastiques d'émissions aient été observées pour ces polluants (plus de 95% de réduction), l'industrie de l'énergie contribue toujours significativement aux émissions de SO_2 (23%) et de Ni (13%), notamment dû au raffinage de pétrole, et de Hg (21%) à cause de l'incinération de déchets non dangereux.

En ce qui concerne les gaz à effet de serre, l'industrie de l'énergie représente en 2023 13% et 10% des émissions de CO_2 et CO_2e (hors puits de carbone), respectivement. Bien que cela soit non négligeable, ce secteur contribue moins aux émissions de CO_2 et CO_2e qu'en 1990, où les contributions étaient respectivement de 18% et 15%. Ceci est notamment dû aux efforts de réduction effectués par ce secteur, avec des réductions relatives de -49% de CO_2 et -53% de CO_2e, à comparer avec les réductions globales nationales connues sur cette même période, hors UTCATF : -30% pour le CO_2 et -31% pour le CO_2e.

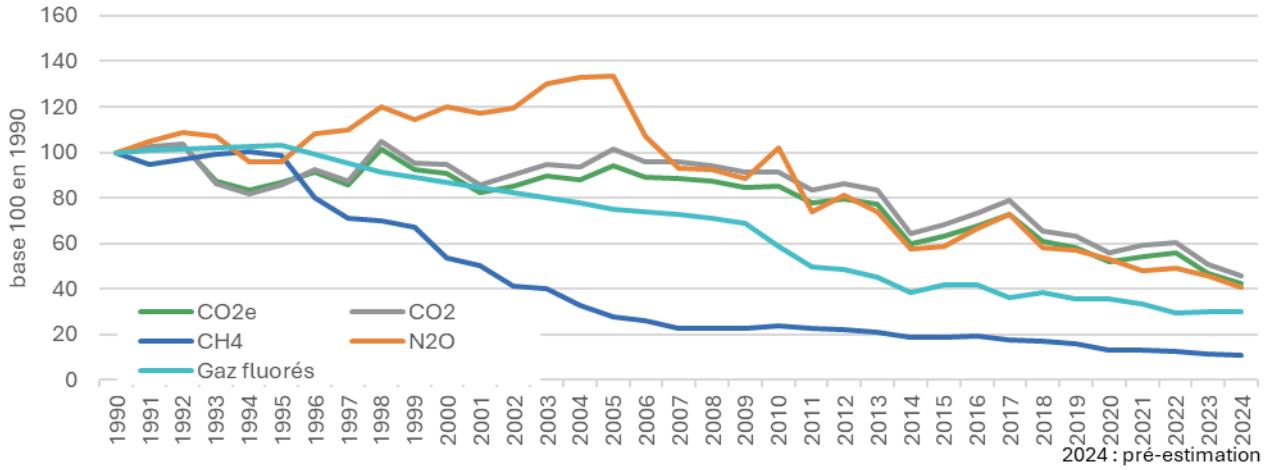
Une analyse plus détaillée par substance est fournie dans les paragraphes suivants.

Emissions de gaz à effet de serre

Vue d'ensemble de la tendance depuis 1990

L'évolution globale des émissions de CO_2e suit celle des émissions de CO_2. Cependant, les contributions des différents sous-secteurs aux émissions totales évoluent de manière distincte, car ces sous-secteurs connaissent des variations d'activité différenciées n'émettent pas les mêmes types de gaz à effet de serre. Par exemple, seul le sous-secteur de la production d'électricité est responsable des émissions de HFC et SF_6 dans le secteur de l'industrie de l'énergie.

Globalement, après une légère hausse des émissions de gaz à effet de serre par rapport au niveau de 1990, une tendance à la baisse des émissions est observée depuis 1992, à l'exception de quelques années où des effets conjoncturels ont pu entraîner des hausses.



Evolution relative des émissions des différents GES du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole et Outre-mer UE) (base 100 en 1990)

Entre 1990 et 2023, les émissions de CO_2 équivalent du secteur de l'industrie de l'énergie ont diminué de 53%. La contribution de ce secteur dans les émissions de GES nationales (hors UTCATF) a baissé entre 1990 et 2023, passant de 14% à 10%. La baisse globale des émissions révèle les efforts de réduction mis en place par le secteur pour limiter sa contribution au changement climatique.

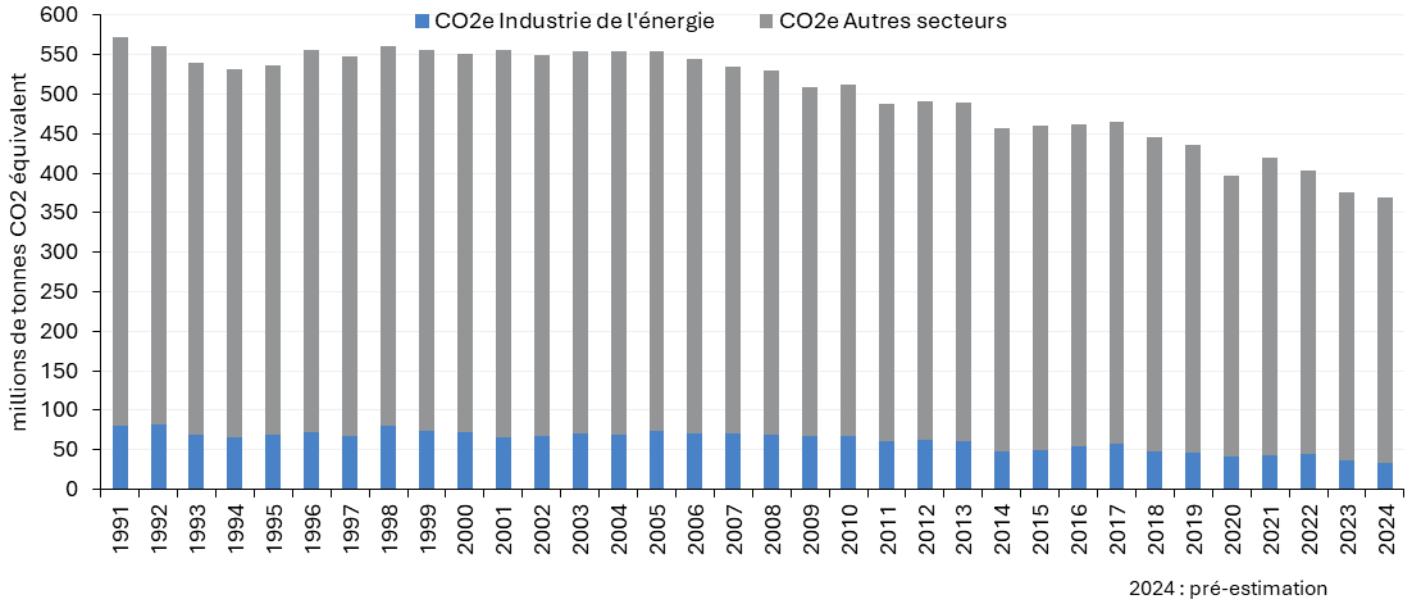
Entre 2019 et 2020, les émissions de CO_2e ont été réduites de 11%, partiellement dû à la crise sanitaire de la Covid-19 mais aussi à un coefficient de rigueur faible (i.e., hiver doux).

La hausse des émissions de GES entre 2020 et 2021 s'élève à +2,0 Mt CO2e, soit +5,0%, notamment dû à une reprise économique et à un hiver plus rigoureux, et à +1,1 Mt CO2e entre 2021 et 2022, soit +2,5%. L'indisponibilité de tranches nucléaires a également eu un impact important sur les émissions de ce secteur. Les arrêts de nombreux réacteurs ont généré un recours plus important aux centrales thermiques à flamme, en particulier au charbon, dans un contexte de hausse des prix du gaz suite à la reprise économique mondiale et à l'invasion russe de l'Ukraine. La consommation d'électricité a néanmoins été amoindrie par les appels à la sobriété énergétique et une hausse des prix.

En 2023, deux facteurs expliquent la baisse observée des émissions de GES du secteur de l'industrie de l'énergie (- 16% comparé à 2022) : la hausse de la production d'électricité bas-carbone et la poursuite de la baisse de la consommation d'électricité. L'année 2022 avait été marquée par un manque de disponibilité de plusieurs centrales nucléaires. En 2023, ces centrales ont progressivement repris leur activité. La production d'électricité nucléaire a ainsi connu une forte hausse (+41,5 TWh, soit +15%). La production renouvelable a aussi augmenté (+9 TWh pour l'hydraulique, +12 TWh pour l'éolien, +3 TWh pour le solaire). La production des centrales fossiles a donc été réduite (-14 TWh pour les centrales à gaz, et les centrales à charbon n'ont représenté que 0,8 TWh). Après une année 2022 déjà marquée par un faible niveau de consommation d'électricité, dans un contexte de crise énergétique et d'appels à la sobriété, celle-ci s'est de nouveau réduite en 2023 (-3%).

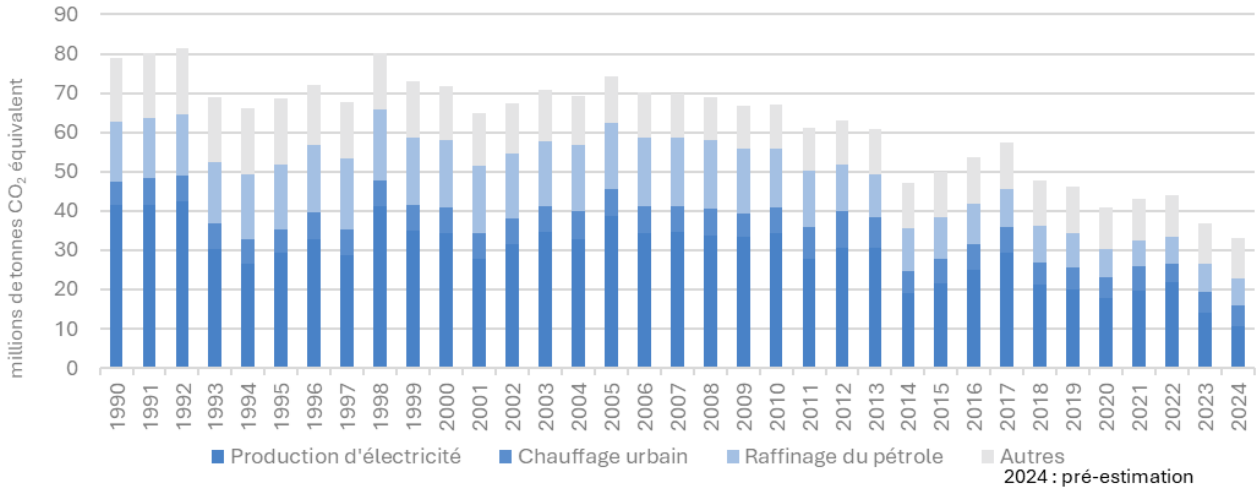
Pour l'année 2024, une baisse des émissions de GES de 10% est estimée, une nouvelle fois majoritairement liée à la production d'électricité. Celle-ci est attendue, malgré une importante hausse de la production d'électricité (+41 TWh comparé à 2023, soit +13%), suite à une bonne disponibilité de la filière nucléaire, ainsi qu'à

un niveau historiquement élevé des filières renouvelables, notamment pour la filière hydraulique (+16 TWh, soit +28%). Ceci a permis d'atteindre un niveau historiquement bas pour la filière thermique fossile, avec notamment une baisse de 11 TWh des centrales thermiques au gaz (soit -40%), et la production bas-carbone (nucléaire et renouvelable) a ainsi couvert plus de 95% de la production totale pour la première fois.



Evolution des émissions totales de GES du secteur en CO_2e

Alors que le sous-secteur de la production d'électricité représentait 52% des émissions de CO_2e de l'industrie de l'énergie en 1990, cette part s'élève en 2023 à 38%. Les autres sous-secteurs les plus contributeurs sont celui du raffinage du pétrole avec une contribution moyenne de 22% (oscillant entre 15% et 27%), et qui s'élève à 19% en 2023, et le chauffage urbain avec une contribution en hausse significative de 1990 aux années les plus récentes (de 8% en 1990 à 15% en 2023), mais qui fluctue en fonction de la rigueur climat. Enfin, le secteur de la valorisation énergétique des déchets, qui contribuait à hauteur de seulement 3,5% en 1990, est désormais prépondérant, et relativement stable en termes de niveau d'émissions depuis 2016, voyant ainsi sa contribution augmenter, jusqu'à 19% en 2023.



Répartition des émissions de CO_2e du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole et Outre-mer UE)

Contribution du secteur aux émissions des différents GES

Ci-dessous, la contribution du secteur de l'industrie de l'énergie aux émissions nationales pour chaque gaz à effet de serre :

- CO_2 : 15% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, avec 13% du total national en 2023, contre 18% en 1990 ;

- CH_4 : la contribution du secteur aux émissions nationales de méthane est en forte diminution depuis 1990 (de 9% en 1990 à moins de 1,4% en 2022), avec une baisse des émissions au sein du secteur de 88% depuis 1990, notamment en lien avec la fermeture des mines ;
- N_2O : contribution relativement stable depuis 1990, entre 0,8% et 1,5% du total national, avec une réduction de 50% entre 1990 et 2023 ;
- HFC : contribution négligeable au niveau national (0 à 0,1%), due uniquement à la production d'électricité ;
- PFC : le secteur n'est pas émetteur de PFC ;
- SF_6 : la contribution de ce secteur fluctue selon la période entre 18% et 41%, une contribution maximale aux émissions nationales observée en 2023, contre 23% en 1990 malgré une réduction globale de 70% de ces émissions sur cette même période ;
- NF_3 : le secteur n'est pas émetteur de NF_3.

Objectifs

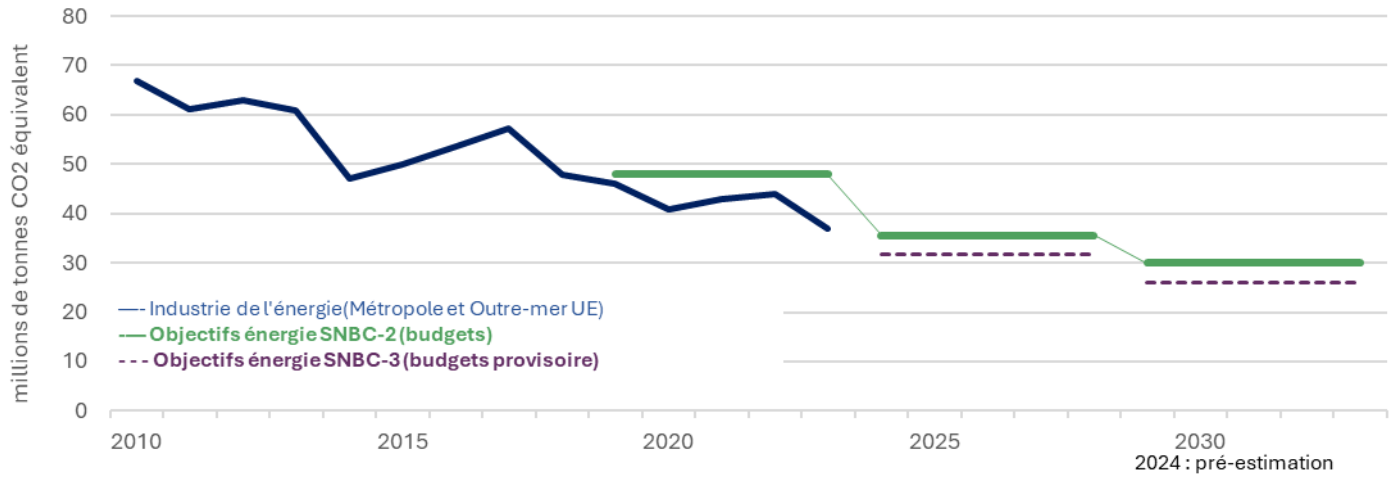
Budgets carbone de la SNBC

Pour le secteur de l'industrie de l'énergie, le niveau d'émissions de 2023, de 37 $MtCO_2e$, constitue le niveau le plus bas depuis 1990, en baisse de -17,9% par rapport à 2022. Le budget carbone de la SNBC-2 (ajusté en 2025[46]) pour ce secteur, de 48 $MtCO_2e$ par an en moyenne sur 2019-2023 est supérieur au niveau observé avec une moyenne des émissions de 42,2 $MtCO_2e$ sur cette période. La SNBC-2 prévoit d'atteindre environ 30 $MtCO_2e$ à horizon 2030. Le niveau d'émissions estimé en 2024, qui est de 33,2 $MtCO_2e$, est en-dessous du budget carbone SNBC-2 de la période 2024-2028. Les trajectoires prévisionnelles publiées dans le projet de SNBC 3 mis en concertation en novembre 2024[47], propose des objectifs plus ambitieux avec un budget de 32 $MtCO_2e$ /an en moyenne pour cette même période 2024-2028.

Jusqu'à présent, ce secteur est sur la bonne voie du respect des budgets carbone fixés par la SNBC, aussi bien pour la version initiale (SNBC-1) pour le premier budget carbone (2015-2018) que la version révisée (SNBC-2) pour le second budget (2019-2023). Cette dernière a fixé des budgets plus ambitieux aux horizons 2020, 2025 et 2030, avec pour objectif zéro émission nette de GES au niveau national en 2050. La grande majorité des émissions de la production d'électricité et de chaleur française (68%), y compris l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie, et des émissions fugitives liées à l'extraction ou la distribution (93%), et la totalité de celles du raffinage de pétrole, sont soumises au SEQE de l'Union européenne. Ainsi, le secteur est contraint par des objectifs européens (réduction des émissions de 62% d'ici 2030, par rapport à 2005) et le prix des quotas d'émissions représente une incitation économique forte à entreprendre des actions de réduction des émissions de GES. En effet, après une période relativement stable d'octobre 2018 à octobre 2020, avec un prix compris entre 17€ et 28€, celui-ci a depuis fortement augmenté, de manière constante, pour finalement dépasser 100€ par quota en février 2023, prix le plus haut constaté à ce jour, et était de 84€ en moyenne sur l'année 2023. Il a, depuis, continué de chuter, et a oscillé principalement entre 60 et 75€ en 2024 (moyenne de 65€ sur l'année), avant de repartir à la hausse début 2025 et dépasser les 80€, mais rebaissé depuis à un niveau semblable à 2024.

[46] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten 2025).

[47] https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr/sites/default/files/2024-11/20241031%20Projet%20de%20SNBC%203%20-%20concertation%20prealable-vF.pdf



Emissions de GES du secteur et objectifs SNBC

Leviers de réduction

Plusieurs options sont mises en avant afin de réduire les émissions et respecter la trajectoire définie par la SNBC-2 :

- l'arrêt de la production d'électricité par des centrales à charbon et, plus généralement, la diminution de la consommation énergétique combinée à la décarbonation de l'électricité. Deux des quatre dernières centrales à charbon ont fermé, pendant que celles de Saint-Avold et de Cordemais continuent de fonctionner à bas régime pour assurer la sécurité d'approvisionnement ;
- l'optimisation des rendements énergétiques ;
- à plus long terme, le développement des technologies de capture, stockage et utilisation du carbone.

Vers la SNBC-3

L'objectif provisoire pour ce secteur, présenté en amont de la prochaine SNBC-3 est de 27 $MtCO_2e$ à horizon 2030. Cela entraine une hausse de l'ambition de réduction sur la période 2019-2030 par rapport à la SNBC-2, en passant de -33% à -42%.

Par rapport au niveau de 2023 (37 $MtCO_2e$), cela signifierait une réduction moyenne de -3,9%/an.

La publication définitive de la SNBC-3 est attendue fin 2025.

Détail par gaz à effet de serre

CO_2 | Dioxyde de carbone

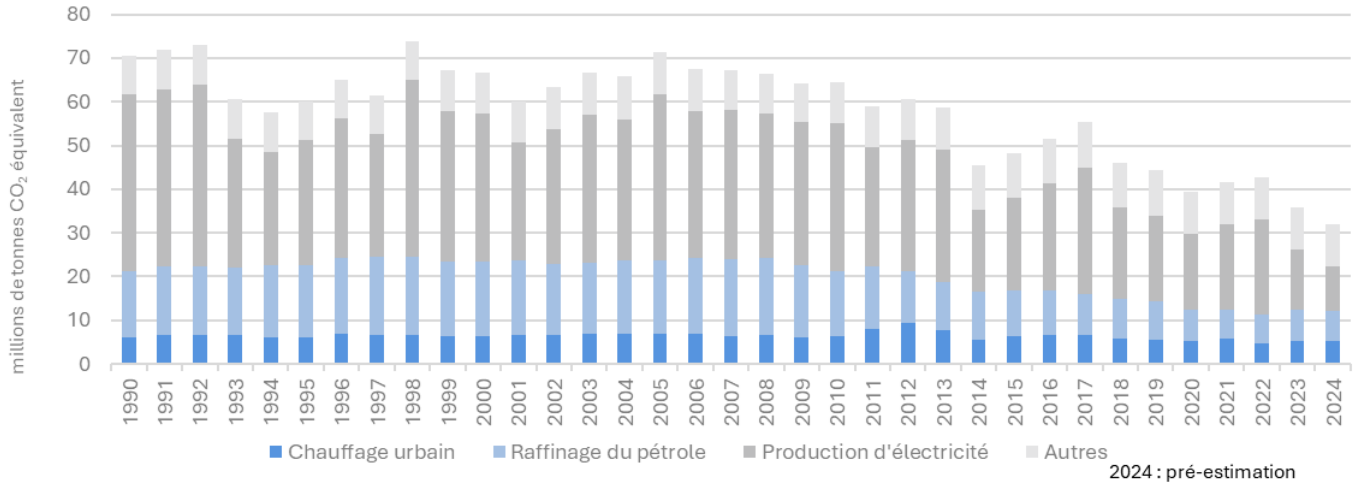
Depuis 1990, le secteur de la production d'électricité a connu une réduction de ses émissions de 27 Mt CO_2, soit une baisse relative de 66% en 2023. La baisse globale des émissions de la production d'électricité s'explique essentiellement par l'évolution du mix électrique de production et celle des disponibilités des différentes filières. Bien que des variabilités sont observées, la rigueur moyenne du climat est également moins élevée dans les années récentes qu'au début de la série (coefficient de rigueur moyen de 0,9 pour 2019-2023, contre 0,96 en 1990 et 1,04 de moyenne pour 1990-1994). La nette diminution des émissions en 2014 est liée à la faible sollicitation des centrales thermiques d'appoint du fait de la douceur du climat qui, combinée à la fermeture de certaines centrales au charbon, ont entraîné la division par deux des consommations de charbon par rapport à 2013. Entre 2014 et 2017, la hausse des émissions de CO_2 de la production d'électricité est principalement due aux variations climatiques et à la disponibilité des filières décarbonées ayant pour conséquence l'augmentation de la consommation de gaz naturel et de charbon. Entre 2017 et 2020, les émissions sont nettement à la baisse pour des raisons inverses. Les années 2021 et 2022 montrent un rebond des émissions lié à la crise énergétique et à la conséquente augmentation de la part du charbon dans

le mix, ainsi qu'à des problèmes de disponibilité dans le parc nucléaire français. A l'inverse, la hausse de la disponibilité de la filière nucléaire en 2023, a permis d'atteindre un minimum historique d'émissions de CO_2. Ce minimum historique devrait être significativement abaissé en 2024 avec une pré-estimation d'une réduction des émissions de 25%, en lien avec cette poursuite de la disponibilité nucléaire associé à une production record de la filière renouvelable (cf. section *Production d'électricité décarbonée*).

Les émissions du raffinage de pétrole sont assez stables sur la période 1990 à 2009. Toutefois, depuis 2009, une baisse des émissions de CO_2 de 57% (en 2023) s'observe du fait de la baisse d'activité de ce sous-secteur (fermeture de 5 sites sur 14 restants en 2009). De plus, exceptionnellement en 2020, les émissions ont baissé de 18% comparativement à 2019, dû à la crise sanitaire de la Covid-19, et ont à nouveau baissé en 2021 (-9% par rapport à 2020). En 2023, les émissions de CO_2 ont poursuivi leur légère hausse amorcée depuis 2020 (+5% comparé à 2022), en lien avec l'augmentation de la quantité de brut traitée (+10%), bien qu'elles n'aient pas encore retrouvé leur niveau d'avant crise sanitaire. Les premières estimations pour 2024 prévoient une légère baisse de 2% comparée à 2023.

Les émissions liées au sous-secteur de valorisation énergétique de déchets ont plus que doublé depuis 1990 (+177% en 2023) suite au développement de la récupération d'énergie dans les UIDND (Usines d'Incinération des Déchets Non Dangereux). Toutefois, elles sont restées stables sur les six dernières années.

Les émissions imputables au chauffage urbain restent assez stables tout au long de la période d'observation, avec les niveaux les plus élevés atteints sur la période 2011-2013, suivis d'une diminution notable en 2014 du fait de la douceur du climat, puis d'une nouvelle stagnation entre 2015 et 2017. Une tendance à la baisse est observée depuis 2017 liée à l'évolution du mix énergétique (notamment augmentation de la part de la biomasse), malgré une hausse de l'activité. En 2022, on observe une chute significative de 22% de ces émissions, explicable par la douceur de l'hiver, ainsi que probablement par la forte hausse des prix de l'énergie pour les ménages. Les émissions de l'année 2023 sont en légère hausse de 14% comparée à 2022, niveau le plus faible observé sur la série, notamment à cause de la hausse des consommations pour la production d'électricité et de chaleur pour des industriels et le tertiaire, faite par des installations dont c'est l'activité principale (i.e., NAF 35), et qui donc sont inclues dans l'industrie de l'énergie, conformément aux lignes directrices du GIEC. L'activité de chauffage urbain est relativement stable entre 2022 et 2023.



Répartition des émissions de CO_2 du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole et Outre-mer UE)

CH_4 | Méthane

Etant donné que le CH_4 a un potentiel de réchauffement global (PRG) significatif, l'intérêt autour de ce gaz à effet de serre grandit dans la lutte contre le changement climatique. Depuis 1990, l'industrie de l'énergie a connu une baisse drastique des émissions de CH_4 avec -88% entre 1990 et 2023, notamment due à l'arrêt de l'exploitation des mines à charbon et aux efforts effectués par les exploitants pour limiter les fuites de gaz naturel lors de son transport et de sa distribution. En effet, ces sources sont fortement émettrices de méthane et, en 1990, l'extraction et distribution de combustibles solides représentait 71% des émissions de CH_4 du secteur, tandis que l'extraction et distribution de combustibles gazeux contribuait à hauteur de 23%. En

2023, ce dernier secteur représente 85% des émissions de CH_4 du secteur à lui seul, bien qu'il ait diminué ses émissions de plus de moitié (57%) entre 1990 et 2023, et que cette tendance semble se poursuivre en 2024.

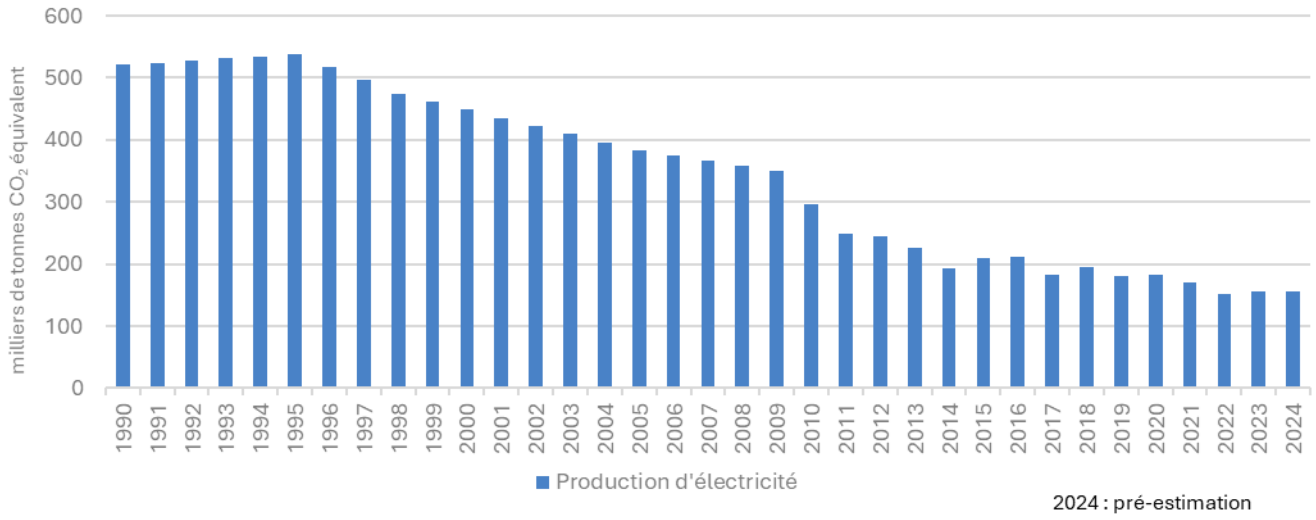
A l'inverse, les émissions des sous-secteurs de la production d'électricité et du chauffage urbain ont vu leurs émissions de CH_4 augmenter significativement, +208% et +346% entre 1990 et 2023, respectivement, en raison d'un recours accru au gaz naturel et à la biomasse en tant que combustibles.

Dans l'Union Européenne, dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe, afin d'atteindre l'objectif de -55% de réduction des émissions nettes de GES en 2030, diverses initiatives visent à réduire les émissions de CH_4 pour les principaux secteurs émetteurs que sont l'industrie de l'énergie, l'agriculture et les déchets, en ayant comme objectif une réduction globale en 2030 d'environ 35% à 37% pour le CH_4.

Pour le secteur de l'énergie, les émissions diffuses liées à la production, le transport et la distribution de pétrole, de gaz et de charbon représentent un levier important avec un fort potentiel de réduction à faible coût. Ainsi, suite à diverses études d'impact pour renforcer l'objectif climat de l'UE, la Commission européenne a présenté une proposition de règlement concernant la réduction et le suivi des émissions de méthane dans le secteur de l'énergie, et modifiant le règlement (UE) 2019/942, en décembre 2021. La proposition de règlement fixe des obligations d'inspection des installations visées par les autorités compétentes, des obligations de mesure et de déclaration aux exploitants et Etats membres, ainsi que des obligations de réduction. De plus, la proposition vise la mise en place d'outils pour améliorer la transparence des émissions produites en dehors de l'UE mais liées à des importations vers l'UE.

SF_6 | Hexafluorure de soufre

Le SF_6 est exclusivement émis par le sous-secteur de la production d'électricité (charge et utilisation des équipements électriques). La baisse continue observée depuis 1995 (-71% en 2023) s'explique par l'amélioration de l'étanchéité des appareils (disjoncteurs et interrupteurs haute tension contenant du SF_6) et des procédures de maintenance, alors même que les quantités chargées dans ces appareils ont augmenté.



Répartition des émissions de SF_6 du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole et Outre-mer UE)

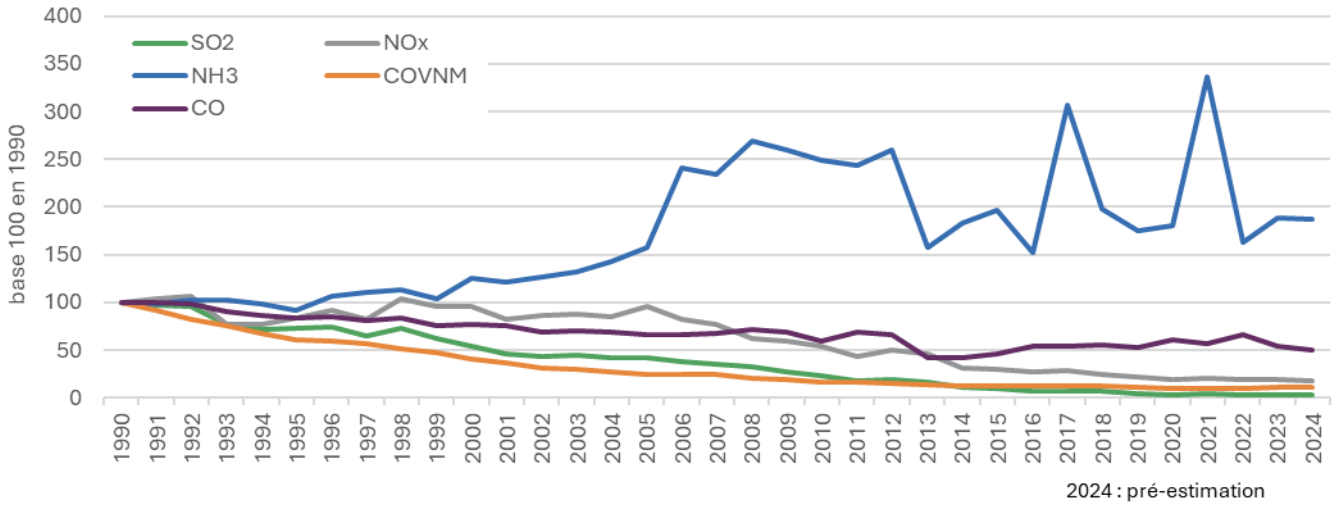
Emissions de polluants atmosphériques

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique

Tendance générale

Tous les polluants responsables de l'acidification, de l'eutrophisation et de la pollution chimique de l'atmosphère ont vu leurs émissions baisser depuis 1990, à l'exception du NH_3, notamment à cause de la

croissance accrue de la consommation de biomasse dans le chauffage urbain. Bien que les émissions de NH_3 de l'industrie aient fortement augmenté (+89% entre 1990 et 2023), ce secteur reste marginal dans le total national qui est dominé par le secteur de l'agriculture, et ne contribue qu'à hauteur de 0,05%.



Evolution relative des émissions des substances de l'AEPP du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole) (base 100 en 1990)

SO_2 | Dioxyde de soufre

Les émissions de SO_2 de la production d'électricité sont en forte baisse depuis 1990, avec une réduction relative de 99% en 2023. Cela s'explique notamment par une réduction globale des consommations dans ce secteur du fait d'une baisse de l'utilisation des centrales fossiles qui ne servent que pour la production d'appoint mais aussi par le recours à des combustibles moins soufrés (gaz naturel notamment en remplacement du charbon, et baisse de la teneur en soufre du fioul lourd) et à la mise en œuvre de techniques de désulfuration afin de respecter la réglementation relative aux Grandes Installations de Combustion renforcée depuis le 1er janvier 2008. Sur la période, des pics ponctuels d'émissions sont observés en 1991, 1998, 2003 et 2005 en raison de conditions climatiques défavorables (hiver rigoureux) ou de circonstances évènementielles particulières dans les autres filières de production d'électricité (arrêts prolongés de réacteurs nucléaires ou moindre disponibilité de l'hydroélectricité). A l'inverse, les fortes baisses des émissions en 2011, 2014, 2018 et 2020 sont liées à une plus faible sollicitation du parc thermique à flamme (du fait de la douceur du climat), et à la forte baisse des consommations de charbon au profit du gaz naturel et à la bonne disponibilité du nucléaire. Une forte augmentation des émissions de SO_2 est observée en 2021 (+71% comparativement à 2020), dû à la croissance de la consommation de charbon (+66%) dû à la faible disponibilité des filières décarbonées. Les émissions pour 2022 sont relativement stables, alors que la forte diminution des consommations de charbon en 2023 (-57% par rapport à 2022), a impliqué une baisse des émissions de 50%, comparée à 2022, tendance qui se poursuivrait en 2024.

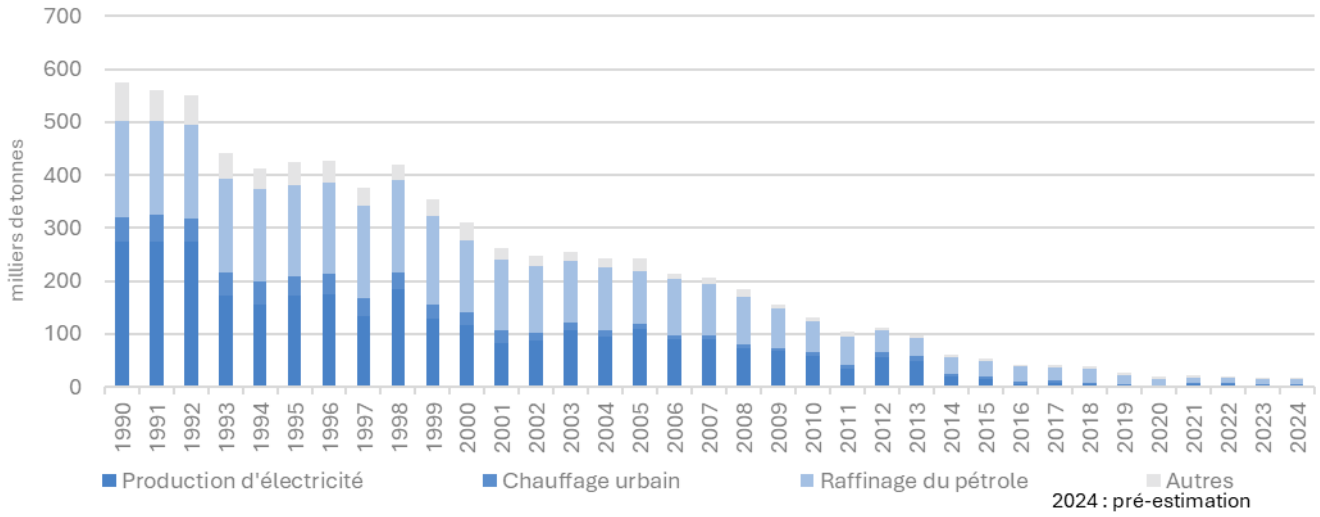
Les émissions liées au chauffage urbain sont en baisse de 94% depuis 1990. Cette baisse est induite par la réduction de la teneur en soufre des combustibles fossiles et par la substitution du fioul lourd et du charbon (plus de 78% à eux deux des consommations énergétiques en 1990 contre 1,5% en 2023) par du gaz naturel (part du mix énergétique de 22% en 1990 à 58% en 2023) et par de la biomasse (de 0,2% à 40% du mix énergétique entre 1990 et 2023). Les conditions climatiques ont aussi un impact selon les années.

Les émissions induites par le raffinage du pétrole ont été réduites de 94% depuis 1990. La réduction des émissions est liée à la baisse de la teneur en soufre des combustibles liquides et à la moindre utilisation de fioul lourd au profit de combustibles gazeux. Le déclin de l'activité ces dernières années, avec la fermeture de plusieurs raffineries, contribue aussi à la baisse des émissions de ce sous-secteur. Enfin, la mise en conformité des installations avec des techniques de désulfuration a également contribué à cette baisse globale. La contribution relative des raffineries au secteur de l'industrie de l'énergie a cependant fortement augmenté, passant de 32% en 1990 à 57% en 2023.

Le sous-secteur de l'extraction et de la distribution de combustibles gazeux est peu émetteur en 2023 mais était une source non négligeable en 1990 (contribution de 8% en 1990 contre 1% en 2023). Cette réduction

traduit le déclin de l'activité extractive en France et la fermeture du site de Lacq en 2014.

Enfin, le sous-secteur de la transformation de combustibles solides, et en particulier les fours à coke dans la sidérurgie, contribue à hauteur de 11% aux émissions de SO_2 du secteur en 2023, malgré une réduction de 92% entre 1990 et 2023.



Répartition des émissions de SO_2 du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)

NO_X | Oxydes d'azote

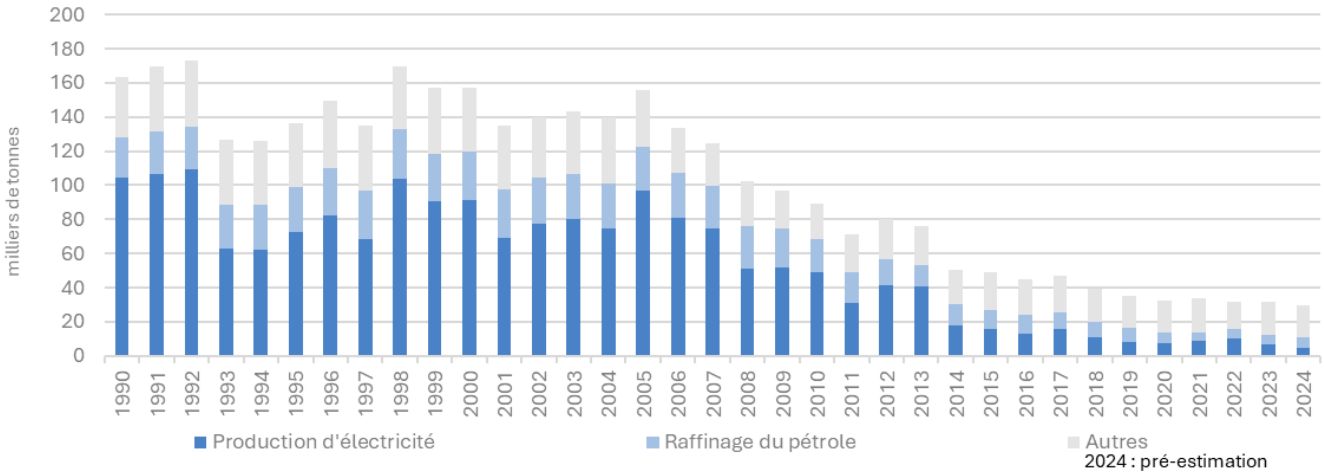
Les émissions de la production d'électricité ont chuté de 94% entre 1990 et 2023, du fait, d'une part, d'une baisse de la consommation de charbon et, d'autre part, de la mise en place de systèmes de traitement des fumées de type SCR (Réduction Sélective Catalytique), dès 2003, sur les centrales à charbon les plus émettrices. La légère reprise des émissions de NO_x observée en 2017 (+20% comparativement à 2016) résulte de l'augmentation des consommations de gaz naturel et de charbon cette année-là en comparaison des précédentes. Lors des années récentes, une légère reprise des émissions est observée pour ce sous-secteur, notamment dû au recours accru aux centrales fossiles suite à la faible disponibilité de la filière nucléaire, mais cette tendance s'est largement inversée pour 2023 (-39% comparé au niveau de 2022), et représente un minimum sur la série temporelle. Ceci est dû à la forte disponibilité des filières décarbonées (nucléaire et renouvelables), ce qui est censé se poursuivre en 2024 où des émissions plus faibles de 26% comparées à celles de 2023 sont estimées.

Les émissions du chauffage urbain ont baissé depuis 1990 (-14% en 2022) alors même que l'activité n'a cessé d'augmenter. Cela s'explique par l'évolution du mix énergétique (recours accru au gaz naturel et à la biomasse au détriment des combustibles minéraux solides) et la mise en œuvre de techniques de réduction des NO_x performantes afin de respecter les réglementations relatives aux Installations de Combustion. En 2022, la douceur de l'hiver a fait que la production de chaleur a baissé significativement, tout comme les émissions (-17% comparé à 2021). Cette tendance s'est inversée en 2023 (+13% comparé à 2022), notamment en lien avec la hausse de l'activité des producteurs distribuant de l'électricité et de la chaleur pour l'industrie et le tertiaire (NAF 35).

Une baisse marquée des émissions du raffinage de pétrole s'observe depuis 2009 (-75%) s'expliquant par le déclin de l'activité en France, ainsi qu'à la mise en place de techniques de réduction selon les règlementations européennes. Une forte baisse avait été observée en 2020 lors de la crise sanitaire du Covid-19, et celle-ci s'est poursuivie en 2021 et 2022, les émissions de 2022 étant légèrement supérieures à celles de 2021 mais bien inférieures à celles de 2020 (-23%). L'activité s'étant intensifiée en 2023 (+10% de brut traité), les émissions ont augmenté de 15% comparé à 2022.

Les autres secteurs de la transformation d'énergie contribuent aux émissions de NO_x principalement du fait de la valorisation énergétique de déchets, qui a une contribution non négligeable de 24% des émissions de NO_x du secteur de l'industrie de l'énergie en 2023et, dans une moindre mesure, de la transformation des combustibles minéraux solides avec 5% du total du secteur pour la même année. En ce qui concerne la valorisation énergétique de déchets, les émissions étaient relativement stables dans les années les plus récentes, avaient connu une baisse significative en 2022 (-26% comparé à 2021) pour atteindre le plus faible

niveau de la série temporelle, mais sont reparties à la hausse de 31% en 2023, comparé à 2022 (au total, -26% d'émissions entre 1990 et 2023).



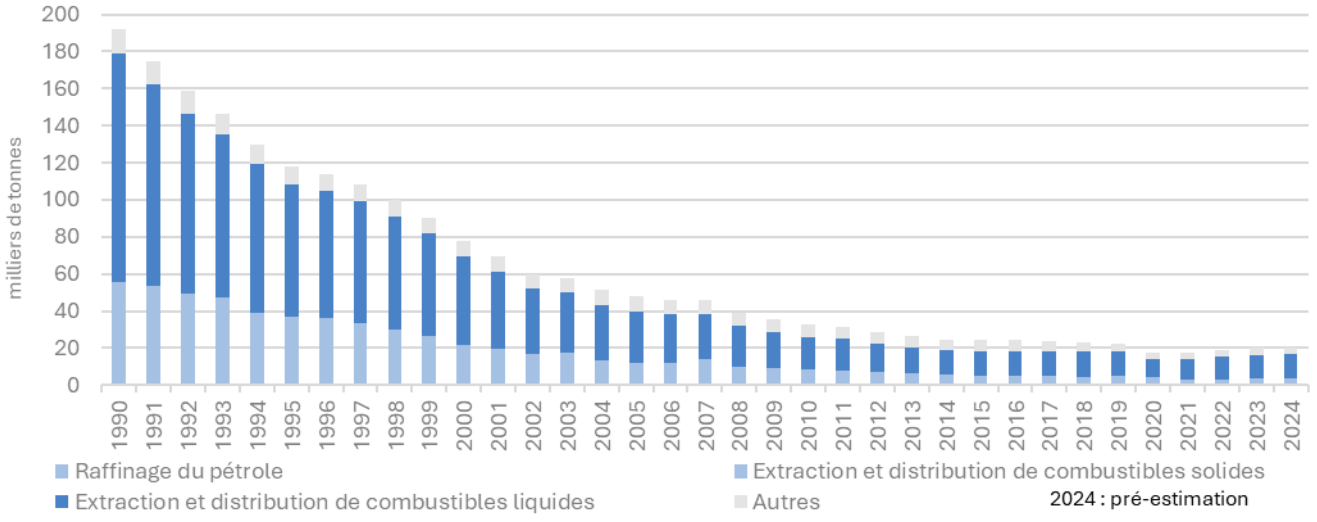
Répartition des émissions de NO_x du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)

COVNM | Composés organiques volatils

Les émissions de COVNM ont été largement réduites depuis 1990 avec une baisse globale pour le secteur de 89% en 2023. Cette baisse est majoritairement imputable à la chaîne de distribution des combustibles liquides qui va de l'extraction des combustibles à leur distribution (-89% depuis 1990 alors qu'elle contribuait à 64% des émissions du secteur en 1990 et contribue toujours à 64% des émissions en 2023).

Cette baisse a été possible grâce aux réglementations appliquées aux sites de stockage et à la distribution de produits pétroliers qui ont dû s'équiper de toits flottants et de systèmes de récupération des vapeurs.

La fermeture des mines de charbon, dont la dernière remonte à 2004, a induit la disparition des émissions de COVNM liées à cette extraction, qui représentait tout de même 17% des émissions du secteur en 1990.Enfin, le secteur du raffinage du pétrole, autre source majeure avec 12% du total d'émissions du secteur en 1990, a baissé ses émissions de 85%, mais représente tout de même 16% du total sectoriel en 2023.

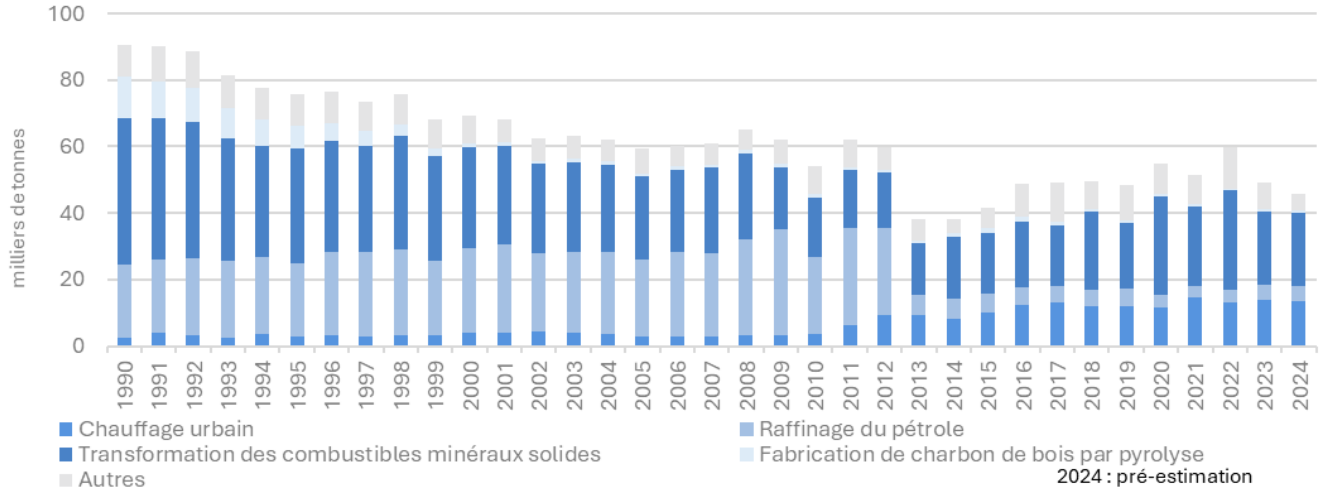


Répartition des émissions de COVNM du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)

CO | Monoxyde de carbone

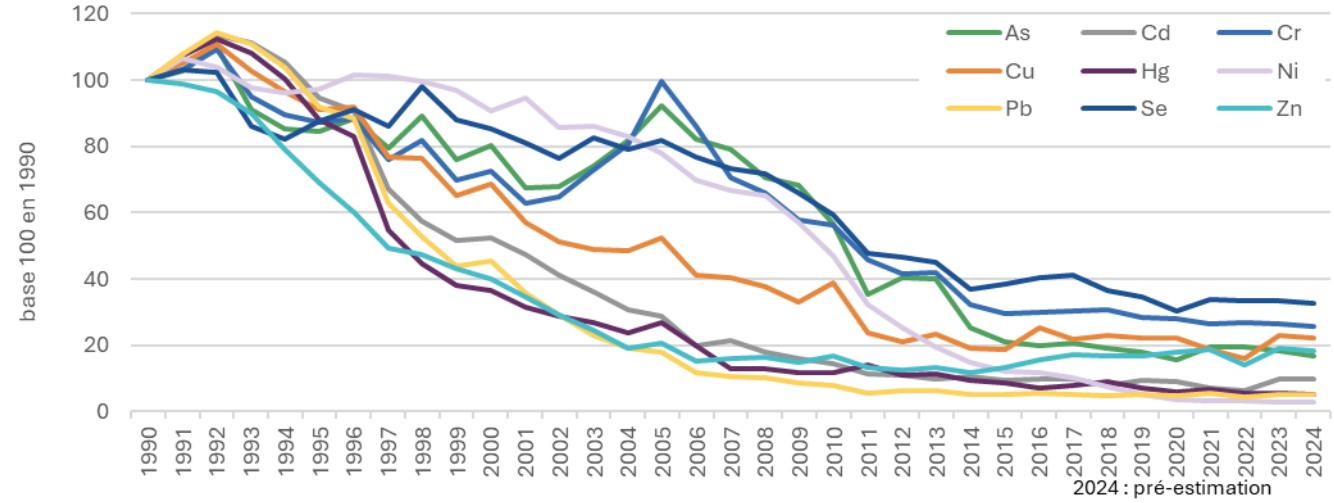
Les émissions de CO ont été significativement réduites entre 1990 et 2023 (-46%), avec des évolutions disparates selon les sous-secteurs. En effet, les sous-secteurs du raffinage du pétrole, de la transformation des combustibles minéraux solides et de la fabrication de charbon de bois par pyrolyse, qui contribuaient respectivement à hauteur de 24%, 48% et 14% aux émissions sectorielles en 1990, ont tous les trois abaissé fortement leurs émissions de 78%, 50% et 94%, respectivement, entre 1990 et 2023. Ces réductions s'expliquent par des baisses d'activité, la mise en conformité des installations de craquage catalytique, et le changement de procédé d'artisanal à industriel pour le charbon de bois.

En revanche, les sous-secteurs de la production d'électricité et du chauffage urbain ont vu leurs émissions augmenter de 60% et 458%, respectivement, sur la période 1990-2023. Pour la production d'électricité, cela s'explique par le développement de centrales au gaz naturel et, dans une moindre mesure, au développement de la filière biomasse, en France continentale comme dans les territoires d'outre-mer. Pour le chauffage urbain, le développement des centrales biomasse est la principale raison de cette augmentation. Ces deux secteurs, qui contribuaient à hauteur de 5% pour la production d'électricité et 3% pour le chauffage urbain, aux émissions de l'industrie de l'énergie en 1990, sont désormais responsables de 14% et 28%, respectivement, en 2023.



Répartition des émissions de CO du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)

Métaux lourds



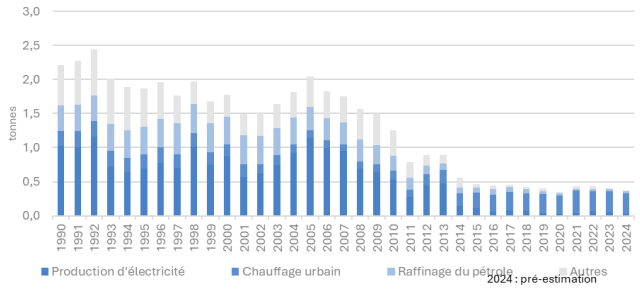
Evolution relative des émissions de métaux lourds du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole) (base 100 en 1990)

Tendance générale

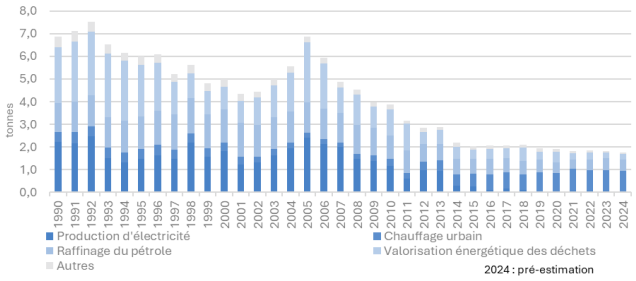
Globalement, les émissions de métaux lourds fluctuent d'une année à l'autre selon l'évolution des consommations de charbon et de fioul lourd dans les sous-secteurs consommateurs et selon la substitution d'une partie de leur consommation par du gaz naturel.

Les émissions ont donc diminué depuis 1990, essentiellement du fait de la réduction des consommations dans la production d'électricité. Cependant, d'autres raisons expliquent les évolutions observées :

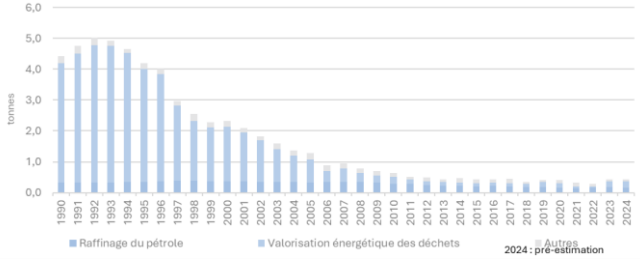
- Le sous-secteur de **la valorisation énergétique de déchets** a vu ses émissions de métaux lourds fortement diminuer. Ceci est particulièrement vrai pour le Cd (-95%) et le Hg (-96%) où les usines d'incinération des déchets non dangereux (UIDND) avec récupération d'énergie représentaient à elles seules 87% et 83% des émissions de Cd et Hg de l'industrie de l'énergie. Les UIDND restent un contributeur important à ces émissions comme les autres sous-secteurs ont baissé leurs contributions également, mais cette réduction a été possible grâce à la mise en conformité progressive de ces installations (notamment mise en place de dépoussiéreurs). Pour les autres polluants, les émissions des métaux lourds ont toutes été réduites de 77% (pour le Se) à 99% également.
- Le secteur de la **production d'électricité** a également réduit toutes ses émissions de métaux lourds de 86% (Zn) à 98% (Hg) entre 1990 et 2022 (-94% en moyenne sur les diverses substances), notamment grâce au changement de mix énergétique et la mise en place d'équipements de traitement des gaz.
- L'augmentation de la plupart des émissions des métaux lourds dans le **chauffage urbain** (As, Cd, Cr, Cu, Pb , Se et Zn notamment avec respectivement +43%, +28%, +115%, +100%, +315%, +45% et +604%) provient de l'utilisation accrue de biomasse dans ce sous-secteur. Toutefois, les émissions de Hg et Ni du chauffage urbain ont baissé de 78% et 98%, respectivement, entre 1990 et 2023, suite à la substitution de l'usage de combustibles solides et du fioul lourd.
- Dans le **raffinage du pétrole**, la réduction de l'utilisation de fioul lourd a entrainé la réduction des émissions de Ni d'environ 98%, alors même que ce sous-secteur contribue à 45% au total de l'industrie de l'énergie en 2023. Cette réduction est liée à la baisse de l'activité de raffinage en France (fermeture de raffineries) et à la substitution du fioul lourd par du gaz de raffinerie moins émetteur de Ni. Les émissions des autres métaux lourds ont toutes chuté entre 47% (Cd) et 91% (As) sur cette même période.



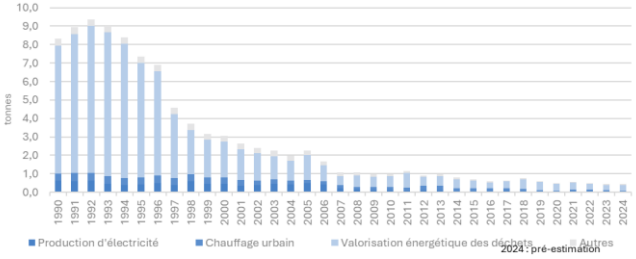
Répartition des émissions d'As du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)



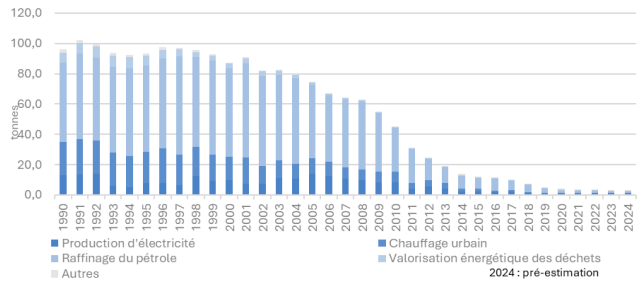
Répartition des émissions de Cr du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)



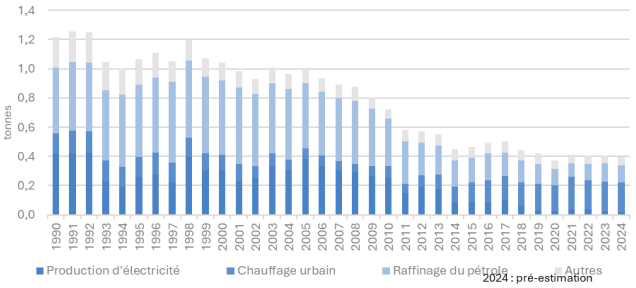
Répartition des émissions de Cd du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)



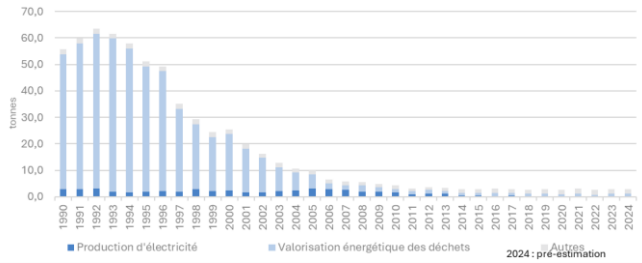
Répartition des émissions de Hg du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)



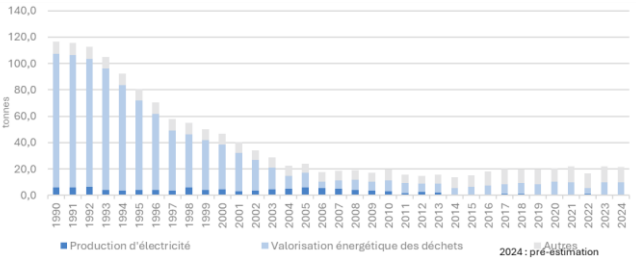
Répartition des émissions de Ni du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)



Répartition des émissions de Se du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)



Répartition des émissions de Pb du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)

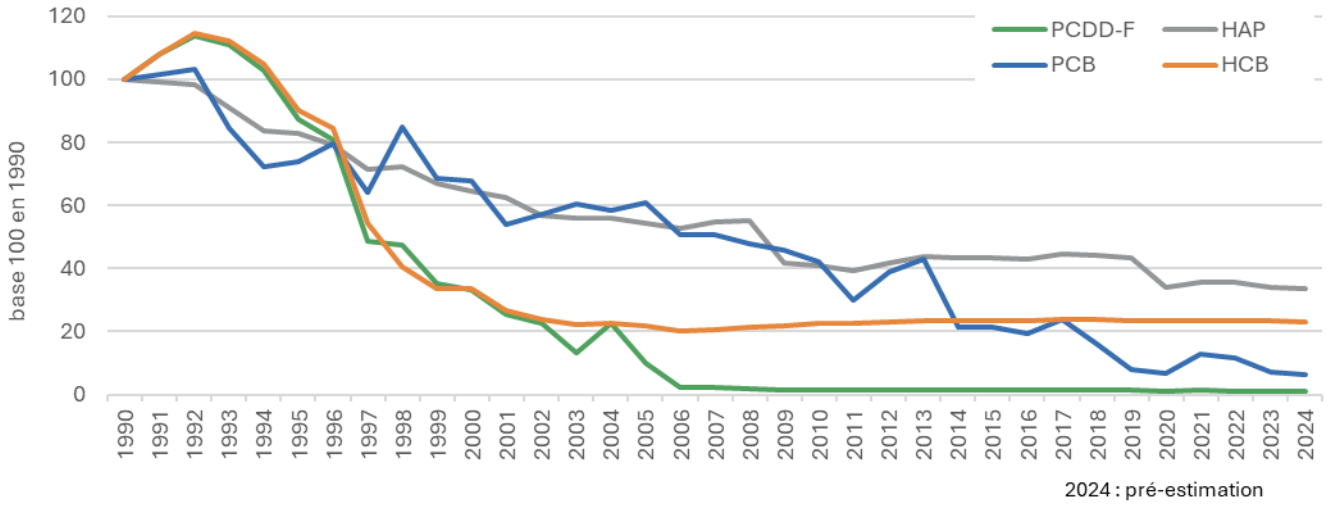


Répartition des émissions de Zn du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)

POP | Polluants organiques persistants

Tendance générale

Les émissions de toutes les substances désignées en tant que polluants organiques persistants ont nettement baissé entre 1990 et 2022 : -99% pour les PCDD-F, -66% pour les HAP, -93% pour les PCB et -77% pour les HCB. Après avoir légèrement augmenté en début de période, les émissions de PCDD-F et de HCB ont connu une réduction significative et progressive depuis 1992 jusqu'à 2006, où depuis elles sont plutôt stagnantes. Les émissions de HAP ont subi une baisse constante de leurs émissions depuis 1990, atteignant des niveaux plus de deux fois moins importants qu'en 1990, avant de connaître une légère stagnation voire un rehaussement entre 2009 et 2019, suivi d'une rechute importante en 2020 pour atteindre un niveau historiquement bas, qui a été réhaussé par la suite mais a finalement été abaissé en 2023 au niveau le plus faible observé sur la série temporelle. Enfin, les émissions de PCB ont été significativement réduites depuis 1990, malgré quelques fluctuations observées comme entre 1997 et 1998, entre 2011 et 2013, entre 2016 et 2017, et enfin après la crise liée au Covid-19 entre 2020 et 2021, mais ont désormais repris une tendance historique à la baisse.



Evolution relative des émissions de POP du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole) (base 100 en 1990)

PCDD-F | Dioxines et Furanes

Le secteur a connu une forte baisse des émissions de PCDD-F (-99%) et HCB (-77%) en 2023, depuis 1990, imputable à la mise aux normes des usines d'incinération des déchets non dangereux avec récupération d'énergie, qui étaient les principaux contributeurs en 1990. Les émissions de PCDD-F ont également fortement chuté pour le secteur de la transformation des combustibles minéraux solides (-67% entre 1990 et 2023), devenu le principal contributeur de l'industrie de l'énergie avec 68% des émissions du secteur en 2023 (contre seulement 2% en 1990). Depuis 2009, celles-ci sont plus stables (après la fermeture de la dernière cokerie minière), malgré une forte baisse entre 2019 et 2020, probablement liée à la baisse de l'activité suite à la crise sanitaire de la Covid-19, qui s'est stabilisée à ce niveau depuis.

HCB | Hexachlorobenzène

Les émissions de HCB sont quasiment entièrement dues au sous-secteur de la valorisation énergétique des déchets (98% du secteur en 1990, et 95% en 2023), et donc suivent la tendance des émissions de ce sous-secteur qui ont chuté de 77%.

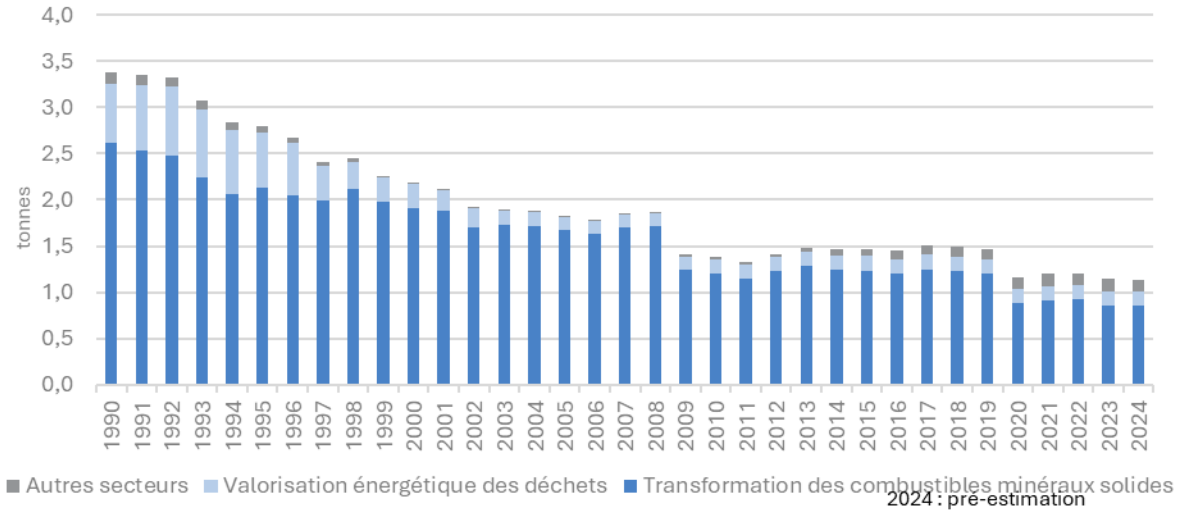
PCB | Polychlorobiphényles

Tous les sous-secteurs de l'industrie de l'énergie émetteurs de PCB affichent une baisse des émissions sur la période, entrainant une baisse globale du secteur de 93% entre 1990 et 2023, et avec une réduction particulièrement marquée pour le sous-secteur de valorisation énergétique de déchets (-100% depuis 1990). Pour la production d'électricité, la réduction des émissions (-96% depuis 1990) s'explique par la baisse de la consommation énergétique globale et par l'évolution du mix énergétique. La légère augmentation des émissions de PCB observée en 2017 (+25% comparativement à 2016) est la conséquence de la reprise de la consommation de charbon d'une centrale. Ce phénomène a été observé également en 2021 (+86% comparé à 2020), suite à la crise sanitaire où le niveau était le plus faible de la série temporelle, mais aussi dû au fait que l'année 2021 a un coefficient de rigueur plus élevé que 2020 (illustrant un hiver plus rigoureux), et où la disponibilité des filières nucléaires et renouvelables dans la production d'électricité était moindre. En 2023, les émissions sont reparties à la baisse (-39% comparé à 2022) et atteignent presque le niveau le plus bas observé pour l'année 2020.

HAP | Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Le secteur a connu une baisse de 66% des émissions entre 1990 et 2023, imputable notamment à la fermeture de la dernière cokerie minière en 2009 (Transformation des combustibles solides – mines), à la réduction de l'activité des cokeries sidérurgiques et à la mise aux

normes des usines d'incinération des déchets non dangereux avec récupération d'énergie.



Répartition des émissions des HAP du secteur de l'industrie de l'énergie en France (Métropole)

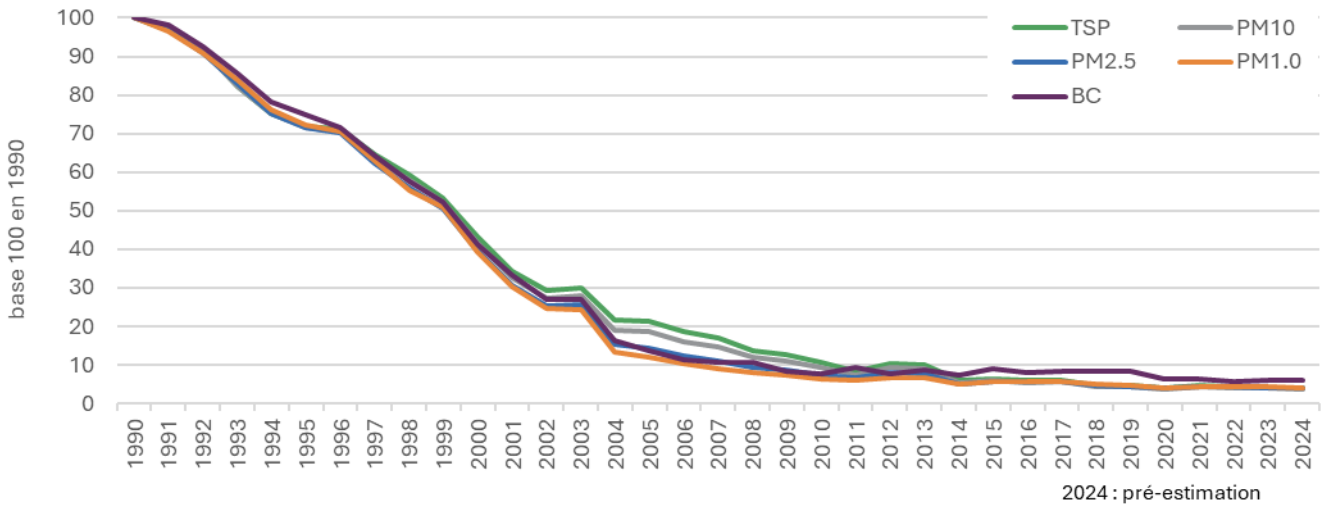
PM | Particules

Tendance générale

Les émissions des différentes substances composant les particules ont été nettement réduites entre 1990 et 2023 : -96% pour les TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$, et -94% pour le carbone suie (BC). Une tendance à la baisse continue est observée sur toute la série temporelle. Toutefois, certaines années comme 2012, 2015 et 2021 ont connu des hausses des émissions des différentes substances de TSP et PM, notamment en lien avec le fait que le climat de ces années-là qui était significativement plus sévère (i.e., coefficient de rigueur plus élevé) que celui des années précédentes, plutôt clémentes, ce qui se répercute sur l'activité du chauffage urbain (et parfois de la production d'électricité, selon la disponibilité des différentes filières).

Les contributions du secteur aux émissions nationales des différentes granulométries de particules sont relativement modestes et sont comme suit :

- TSP : la contribution du secteur aux émissions nationales de TSP est en baisse au cours de la période 1990-2023, allant de 5,0% en 1990 à 0,3% en 2022 (1,8% en moyenne) ;
- PM_{10} et $PM_{2.5}$: 3% du total national en moyenne sur la période 1990-2022, et 1% du total national en 2023, contre 9% en 1990 ;
- $PM_{1.0}$: 3% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 1,1% du total national en 2023, contre 8,4% en 1990 ;
- Carbone suie : 2% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 1% du total national en 2022, contre 6% en 1990.



Evolution relative des émissions du secteur de l'industrie de l'énergie des PM en France (Métropole) (base 100 en 1990)

En 1990, le principal contributeur aux émissions de particules et carbone suie du secteur était l'extraction et distribution de combustibles solides, qui contribuait à 74% aux émissions de $PM_{2.5}$ par exemple. L'activité minière s'étant définitivement arrêtée en 2004, les émissions totales du secteur ont pu être fortement réduites. Depuis, les émissions évoluent principalement en fonction de la combustion de combustibles solides (de type charbon et biomasse) et, dans une moindre mesure, du raffinage du pétrole. La production d'électricité avec des centrales thermiques au charbon s'étant nettement réduite, et l'activité de la transformation de combustibles solides des cokeries sidérurgiques a bien baissé également, associées à l'installation de systèmes de traitement des fumées pour filtrer les particules, les émissions de particules de ces sous-secteurs ont fortement baissé. Un constat similaire pour les raffineries peut être fait.

A l'inverse, l'activité de production de chaleur des réseaux urbains s'est intensifiée, et la part de la combustion de biomasse dans le mix énergétique s'est fortement accrue, ce qui fait de ce sous-secteur le principal contributeur aux émissions en 2023, avec par exemple 67% des émissions de $PM_{2.5}$, alors qu'il contribuait à hauteur de seulement 2% en 1990. Le sous-secteur du chauffage urbain est d'ailleurs le seul de l'industrie de l'énergie qui voit ses émissions connaître une croissance, et notamment pour les petites tailles de particules (+63% pour les $PM_{2.5}$ entre 1990 et 2023, mais +21% pour le BC et seulement +1% pour les TSP). Pour les différentes émissions de TSP et PM, les réductions observées dans les autres sous-secteurs varient toutes entre 81% et 100% pour la période 1990-2023, mais avec une moyenne des taux de réduction d'environ 93%.

En savoir plus

- ▶ Détail des sources d'émissions incluses dans ce secteur en Annexe de ce rapport
- ▶ Détail de la méthode d'estimation dans le rapport méthodologique Ominea
- ▶ Politiques de réduction des émissions : voir les chapitres *Politique Climat* et *Politique air*.

Industrie manufacturière et construction

Rédaction : **Adélaïde TRESARRIEU, Grégoire BONGRAND**

En bref

Le secteur *Industrie manufacturière et construction* est un ensemble hétérogène dans le sens où l'on constate :

- que des émissions de polluants sont liées à l'utilisation de l'énergie tandis que d'autres sont liées à d'autres phénomènes (mécanique, chimique, etc.),
- la grande diversité des procédés spécifiques aux différents secteurs de la branche et aux divers produits,
- la variabilité des caractéristiques des installations même au sein d'un secteur (type d'équipement, taille, etc.).

Ce secteur représentait entre 26% (début des années 1990) et 18% (en moyenne, ces dix dernières années) des émissions de CO_2e du total national français. Depuis 2022, sa part est passée sous le seuil des 18%. Ces émissions proviennent à la fois des activités de combustion et des procédés industriels mis en œuvre. Alors que les émissions totales de GES (hors puits de carbone) ont diminué de 31% entre 1990 et 2023, les émissions du secteur de l'industrie et de la construction ont, elles, baissé de 55%.

Description du secteur

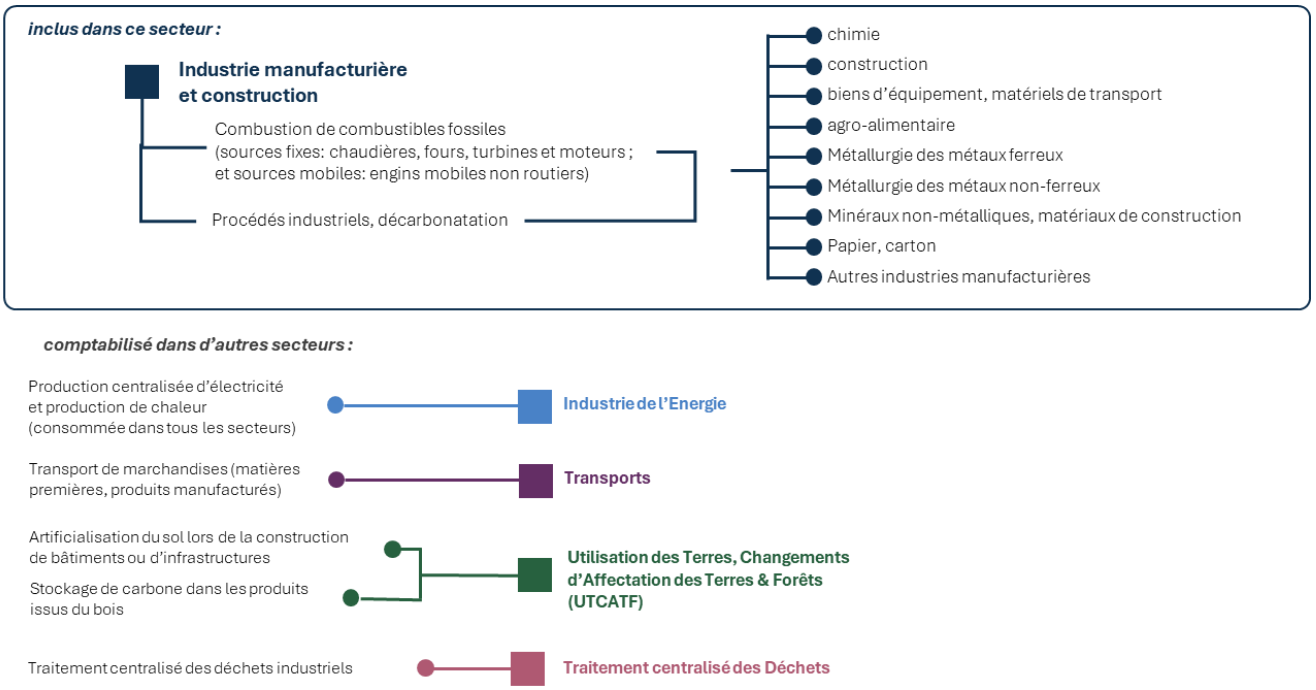
Émissions incluses dans ce secteur

Le secteur nommé « *Industrie manufacturière et construction* » intègre, d'une part, les sources de combustion fixes (les chaudières et les fours de procédé de l'industrie manufacturière) et mobiles (engins mobiles non routiers), d'autre part, les sources de décarbonatation et, enfin, les usages non énergétiques.

Ce secteur regroupe plusieurs sous-secteurs :

- « **Chimie** » : chimies organique, non organique et diverse incluant notamment les productions d'éthylène, d'acide sulfurique, d'acide nitrique, d'acide glyoxylique, d'ammoniac, d'engrais, ainsi que la fabrication de produits pharmaceutiques, de peinture, etc.,
- « **Construction** » : incluant notamment les chantiers et BTP, les stations d'enrobage, etc.,
- « **Biens d'équipements, matériels de transport** » : biens d'équipements, constructions mécanique, électrique, électronique et matériels de transports incluant en particulier la fabrication de composants électroniques, la fabrication d'accumulateurs, etc.,
- « **Agro-alimentaire** » : incluant par exemple la fabrication de pain, les productions de sucre et de farine, etc.,

- « **Métallurgie des métaux ferreux** » : incluant la sidérurgie avec par exemple le chargement des hauts fourneaux, les laminoirs, les fours à oxygène ou à arc électrique, ainsi que la production de ferroalliages, etc.,
- « **Métallurgie des métaux non-ferreux** » : dont les productions de plomb, de zinc, d'aluminium, etc.,
- « **Minéraux non-métalliques, matériaux de construction** » : intégrant entre autres les productions de verre, de ciment, de chaux, de tuiles et briques, l'extraction en carrières, etc.,
- « **Papier, carton** » : incluant par exemple la fabrication de pâte à papier, etc.,
- « **Autres industries manufacturières** » : autres secteurs de l'industrie et non spécifiés, qui intègrent en particulier le travail du bois, l'imprimerie, le tannage du cuir, etc.



Tendance générale

Les émissions du secteur industrie manufacturière et construction en France métropolitaine ont globalement diminué au cours du temps, notamment après 2008, le secteur ayant été particulièrement touché par la crise financière. Ainsi entre 2008 et 2009, le secteur de l'industrie manufacturière et construction a vu ses émissions de CO_2e baisser de 18%. Des analyses plus fines sont présentées ci-après.

Cadre politique

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) indique des mesures afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre au sein de l'industrie et construction. Par exemple, il est proposé que la consommation de charbon au sein du secteur (hors sidérurgie) soit réduite de 75% d'ici 2028, en priorisant la substitution du charbon par la biomasse et en pérennisant l'appel à projets Combustibles Solides de Récupération du Fonds déchets pour réaliser les adaptations nécessaires. Au niveau des réseaux de chaleur, il est recommandé de prioriser dans le fonds chaleur la substitution du charbon par des sources renouvelables d'énergie. Concernant le sous-secteur de la sidérurgie, il est recommandé dans la PPE de mettre en place des procédés moins émetteurs de CO_2 dans les hauts-fourneaux en mobilisant les crédits du programme d'investissements d'avenir, et de poursuivre le soutien du Fonds chaleur aux actions de récupération de chaleur fatale industrielle.

Parmi les sites industriels soumis au Système d'Echange de Quotas d'Emissions de l'Union Européenne (SEQE-UE) (environ 1200 en France), on recense entre 120 et 130 sites utilisant du charbon, selon les années.

Selon une étude de l'OCDE publiée en février 2020, la hausse des prix de l'énergie de 10% constatée entre 2001 et 2016 a permis une baisse de la consommation

d'énergie de 6% et une baisse des émissions de CO_2 de 9%. Cette étude estime l'impact de la taxe carbone en 2018 à une réduction des émissions de CO_2 de 5% (au taux actuel, par rapport à un scénario sans taxe). Une des conclusions dressées par cette étude montre que l'augmentation des prix de l'énergie n'a pas eu d'effet sur la création nette d'emplois au niveau sectoriel, et a permis un redéploiement de productions et de salariés des entreprises intensives en énergie vers d'autres plus économes en énergie.

Dans sa lettre sur le Pacte Production, le Haut Conseil pour le Climat (HCC) propose, concernant l'industrie et la construction, l'utilisation de l'hydrogène décarboné pour compléter les efforts accomplis avec l'électricité, ou l'amélioration de l'efficience des procédés. Enfin, dans cette lettre, le HCC tient à rappeler la nécessaire prise en compte des enjeux d'adaptation au changement climatique, pointant les contraintes de niveaux de production auxquelles font face l'industrie et la construction.

Le 8 novembre 2022, dans le cadre du programme France 2030, visant à respecter les objectifs climat à horizon 2030, les 50 plus gros émetteurs du secteur de l'industrie ont été réunis par le gouvernement afin de définir une stratégie collective de de décarbonation. Pour ce faire, une enveloppe de 5 milliards € (Md€) a été allouée au secteur, visant une réduction d'environ 10 Mt de CO_2 d'ici 2030 (soit 15% des émissions du secteur en 2023), notamment via le déploiement de l'hydrogène et de la biomasse, l'électrification de certaines technologies, et le captage et stockage du CO_2. Les objectifs de réduction de ces 50 sites sont néanmoins plus ambitieux et visent à diviser les émissions par deux en 2030, comparativement à 2019, et la neutralité carbone en 2050. Le montant total de ces investissements a été évalué à environ 50 à 70 Md€. Un an plus tard, le 22 novembre 2023, les contrats de transition écologique de ces 50 sites industriels ont été signés

Sources d'émissions

Les émissions du secteur de l'industrie et de la construction regroupent à la fois celles liées à la consommation d'énergie et celles générées directement par les procédés industriels, sources potentielles d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.

Les équipements consommateurs d'énergie dans l'industrie peuvent être répartis en trois familles :

- **Les procédés énergétiques communs** à la plupart des secteurs : ils regroupent les activités de combustion sans contact dans les chaudières, turbines et moteurs destinés à produire de la vapeur et/ou de l'électricité,
- **Les procédés énergétiques spécifiques** à certains secteurs : ils regroupent les fours sans contact (comme les régénérateurs de hauts-fourneaux, les fours à plâtre, etc.) et les fours avec contact dans les secteurs de la sidérurgie, de la métallurgie, des industries cimentières et verrières, etc.,
- **Les sources mobiles hors transports** : elles regroupent les engins et machines à moteurs thermiques utilisés dans l'industrie et le BTP (chariots élévateurs, etc.).
- Parmi les spécificités de l'industrie manufacturière et de la construction, sont à noter :
- La part importante des consommations de gaz sidérurgiques (gaz de hauts-fourneaux, de convertisseurs d'aciérie, et de cokerie) dans les combustibles minéraux solides, passant de 10% à 24% entre 1990 et 2022. Ces gaz sont produits et autoconsommés en grande partie par l'industrie sidérurgique dans les hauts-fourneaux et les fours de réchauffage pour l'acier,
- La forte diminution de la part du fioul lourd dans les combustibles « liquides », passant de 48% en 1990 à 8% en 2023, qui s'est fait substituer partiellement par le diesel, le GPL (butane, propane) et le gaz de raffinerie notamment,
- Le remplacement du fioul domestique par le gazole non routier (pris en compte dans la catégorie diesel) à la suite de la réglementation applicable aux engins mobiles, depuis 2011.

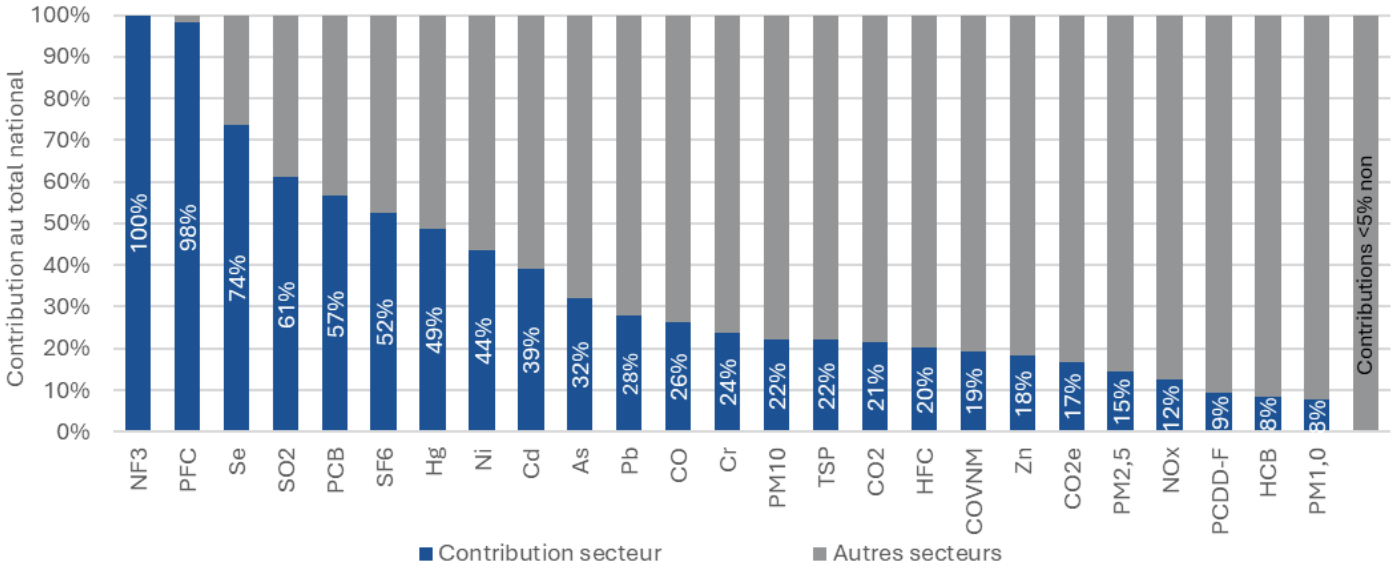
Au niveau des sources fixes d'émissions, l'industrie manufacturière est un ensemble hétérogène car il est constaté :

- Que des émissions de polluants sont liées à l'utilisation de l'énergie tandis que d'autres sont liées à d'autres phénomènes (mécanique, chimique, etc.),
- Une grande diversité des procédés spécifiques aux différents secteurs de la branche et aux divers produits,
- Une variabilité des caractéristiques des installations et ce, même au sein d'un secteur (type d'équipement, taille, etc.).

Les émissions liées à la combustion provenant de sources mobiles du secteur de l'industrie et du BTP (engins mobiles non routiers) sont comptabilisées sous

ce terme. Les équipements mobiles consommateurs d'énergie fossile dans le secteur de l'industrie et du BTP sont nombreux et divers.

Principales substances émises par le secteur



Substances pour lesquelles le secteur de l'industrie manufacturière et construction contribue pour au moins 5% aux émissions en 2023

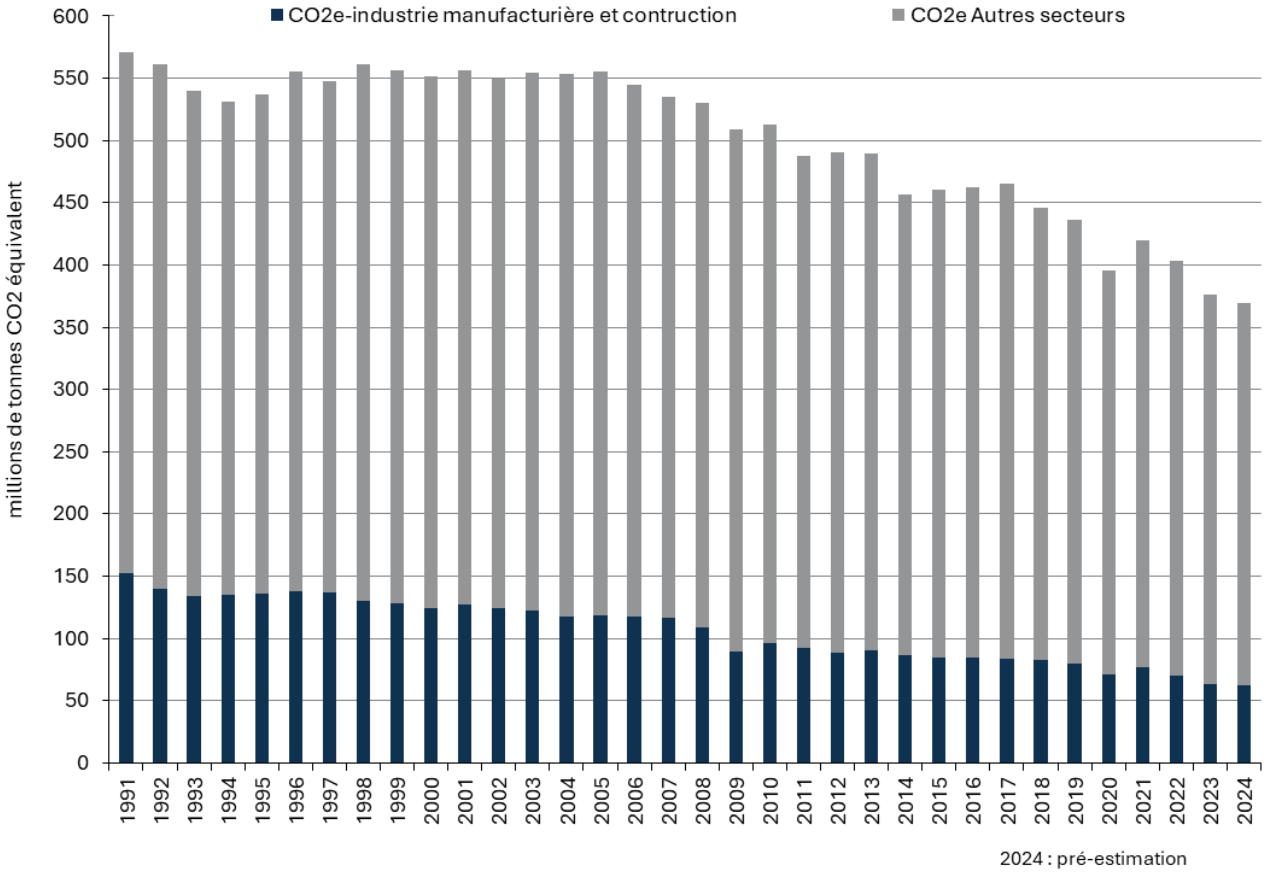
Émissions de Gaz à effet de serre

Depuis 1990, les émissions de CO_2 équivalent du secteur de l'industrie manufacturière et de la construction sont en baisse. La part de ces émissions dans le total national est également en baisse, passant de 26% en 1990 à 17% en 2023. Cela démontre les efforts fournis par le secteur pour réduire son impact environnemental, bien qu'il convienne de mentionner que cette réduction a eu lieu dans un contexte de dégradation de la balance commerciale française.

L'évolution globale des émissions de CO_2 équivalent suit celle des émissions de CO_2. Cependant, la répartition sectorielle diffère en raison de la prise en compte des autres gaz à effet de serre. Notamment, le secteur de la chimie inclut ici les émissions de N_2O, particulièrement élevées entre 1990 et 2008.

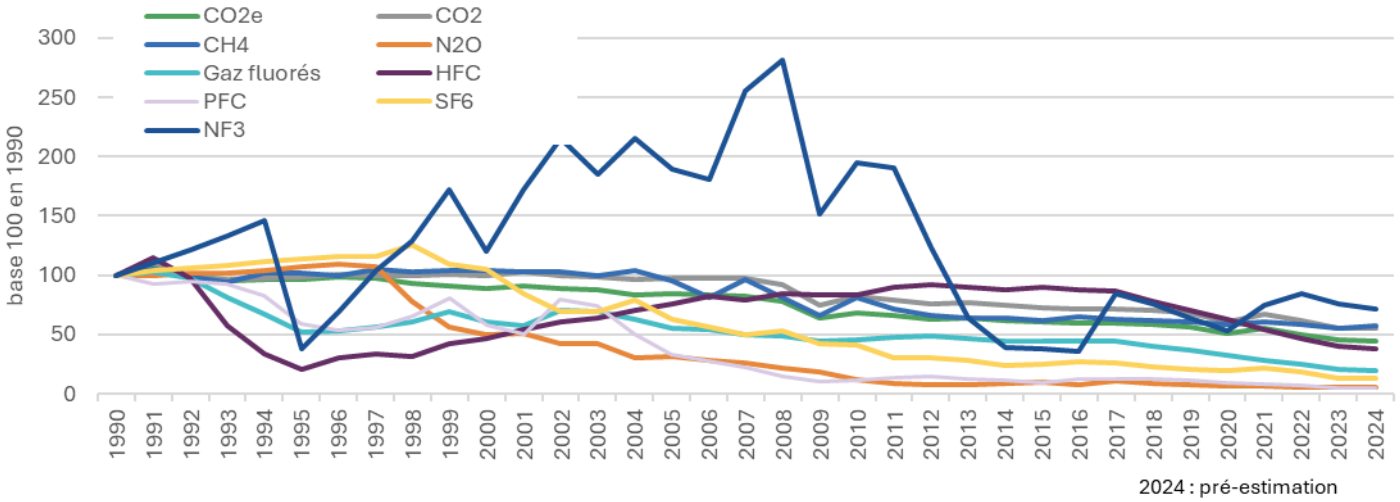
Globalement, on observe une tendance à la baisse des émissions par rapport au niveau de 1990.

Ci-dessous, la contribution du secteur de l'industrie manufacturière et construction aux émissions nationales, hors UTCATF, est donnée pour chaque gaz à effet de serre.



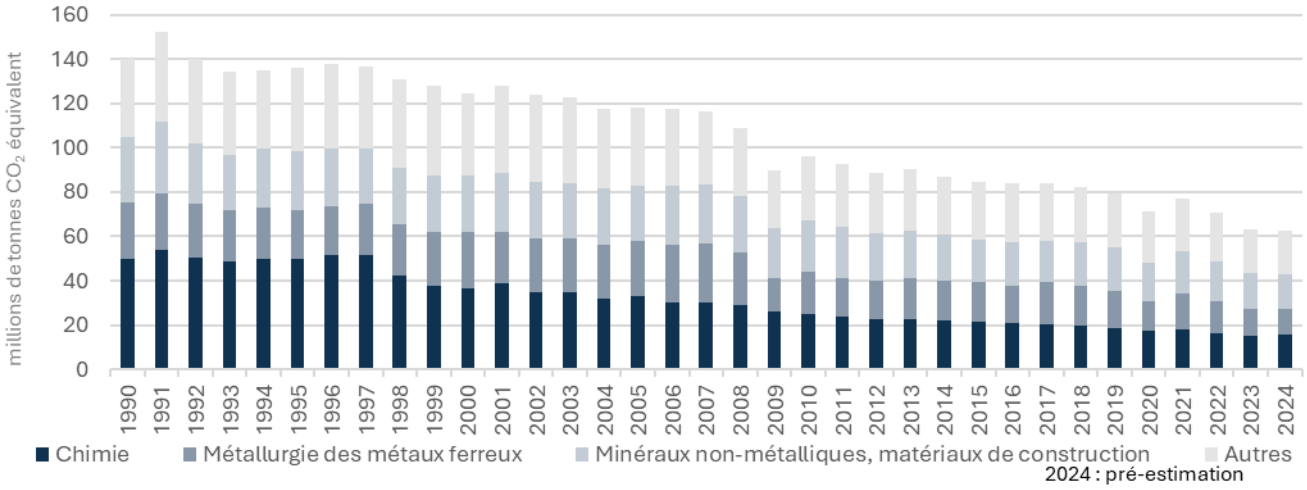
Evolution des émissions totales de GES du secteur en CO_2e

- CO_2 : 24% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 21% du total national en 2023, contre 27% en 1990. Les émissions ont diminué de 44% depuis 1990, grâce à des réductions de tous les sous-secteurs, excepté celui de la construction pour lequel les émissions sont en hausse de 2% sur la période ;
- CH_4 : la contribution du secteur aux émissions nationales de méthane est stable depuis 1990 (entre 0,4 et 0,6% du total national selon les années), avec une baisse des émissions au sein du secteur de 45% depuis 1990 ;
- N_2O : 20% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 4 ,2% du total national en 2023, contre 41% en 1990. Les émissions ont diminué de 95% depuis 1990, notamment grâce au secteur de la chimie, qui représentait 98% des émissions du secteur en 1990, et qui a réduit ses émissions de 99%, suite à la mise en place de catalyseurs pour éliminer le N_2O ;



Evolution relative des émissions du secteur de l'industrie manufacturière et construction des différents GES en France (Métropole et Outre-mer UE) (base 100 en 1990)

- HFC : 38% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 20% du total national en 2023, contre 100% en 1990. Les émissions ont diminué de 60% depuis 1990 ;
- PFC : la contribution du secteur aux émissions nationales de PFC était de 100% de 1990 à 1999, avant d'osciller entre 95 et 100% du total national depuis 2000. Les émissions de PFC du secteur de l'industrie ont baissé de 95% depuis 1990 ;
- SF_6 : 67% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 52% du total national en 2023, contre 70% en 1990. Les émissions ont diminué de 87% depuis 1990 ;
- NF_3 : le secteur de l'industrie manufacturière et construction est le seul contributeur au niveau national. Les émissions de cette substance sont générées lors de la fabrication de composants électriques et sont générées par quelques sites seulement, et peuvent donc être très fluctuantes. En 2023, celles-ci ont diminué de 25% comparé au niveau 1990.



Répartition des émissions de CO_2e du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

Alors que le sous-secteur de la chimie représentait 35% des émissions de CO_2 équivalent du secteur en 1990, notamment dû à la forte part d'émissions de N_2O, cette part a diminué et s'élève désormais en 2023 à 24%. Bien

que ce sous-secteur reste le principal contributeur, la contribution du sous-secteur de l'agro-alimentaire a nettement augmentée et est passée de 6% en 1990 à 12% en 2023. Les autres sous-secteurs les plus émetteurs sont celui des minéraux non-métalliques et matériaux de construction (25% en 2023), ainsi que la métallurgie des métaux ferreux (18% en 2023).

Evolution globale du secteur sur la période 2023-2024

La tendance des émissions de GES à la baisse observée en 2023 (-10% par rapport à 2022) ralentirait en 2024 selon les estimations du Citepa. Les émissions totales du secteur de l'industrie diminueraient de 1% entre 2023 et 2024. Les évolutions sont contrastées parmi les trois sous-secteurs les plus émetteurs. Selon les estimations, les émissions du sous-secteur des minéraux non métalliques et des matériaux de construction devraient diminuer de 6% en 2024 (contre 10% de baisse observée entre 2022 et 2023), en lien principalement avec une baisse de production de 8% pour le ciment et de 14% pour le verre creux. À l'inverse, les émissions du sous-secteur de la chimie connaîtraient une légère hausse de 1%, principalement en raison de l'augmentation de la production dans la chimie inorganique (+2%) et organique (+6%) entre 2023 et 2024. Enfin, les émissions du sous-secteur des métaux ferreux augmenteraient de 2%, portée par une hausse de 6% de la production d'acier issu de hauts fourneaux.

Objectifs

Budgets carbone de la SNBC

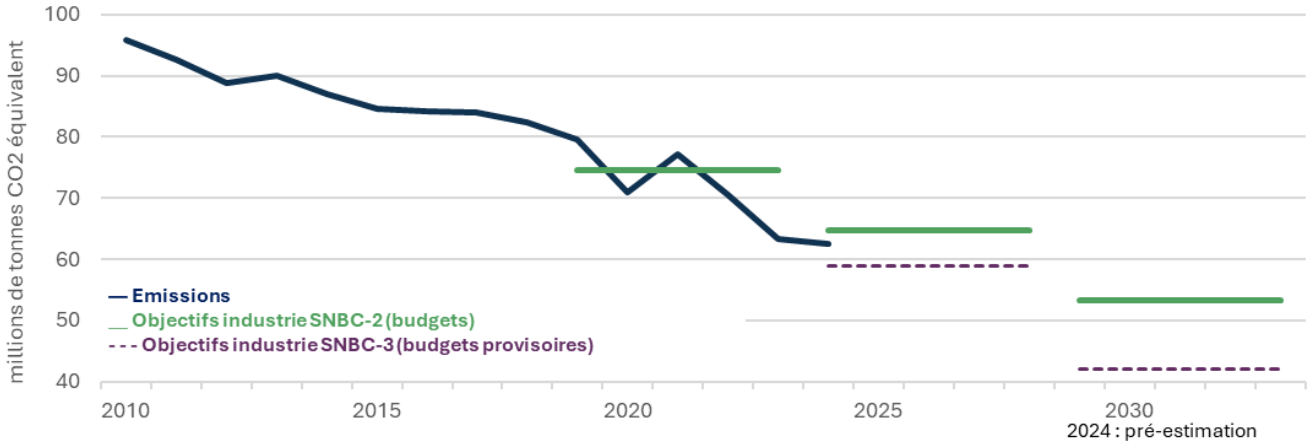
Le secteur est globalement cohérent avec les budgets carbones fixés par la SNBC-1 et ensuite par la SNBC-2, dont l'objectif est d'atteindre la neutralité carbone en 2050 au niveau national.

Le budget carbone ajusté pour ce secteur dans la SNBC- 2 pour la période 2019-2023, de 75 Mt CO_2e/an[48], est supérieur au niveau observé de 72,3 Mt CO_2e/an en moyenne sur la période. Le troisième budget ajusté pour la SNBC-2, couvrant la période 2024-2028, est de 65 Mt CO_2e/an en moyenne. Selon les estimations, les émissions pour l'année 2024 seraient de 62,4 Mt CO_2e. Dans la SNBC-3 provisoire, le 3ème budget est fixé à 58 Mt CO_2e/an en moyenne sur la période 2024-2028. En décembre 2023, les 50 sites industriels les plus émetteurs ont publié un objectif non contraignant de réduction de 45% de leurs émissions d'ici 2030.

Plusieurs options sont mises en avant afin de réduire les émissions et respecter la trajectoire définie par la SNBC-2 :

- Investir dans l'économie circulaire, afin d'allonger le cycle de vie des produits et de limiter la production de biens neufs ;
- Agir sur les gaz fluorés, qui ont un très fort pourvoir de réchauffement global (PRG), avec une réduction des émissions de 55% en 2030 par rapport à 1990 ;
- Valoriser la chaleur fatale sur le site industriel et via les réseaux de chaleur : le scénario de référence prévoit une valorisation de 10 TWh de chaleur issue des rejets à plus de 100°C en 2030 ;
- Poursuivre le soutien à l'innovation pour réduire les coûts de décarbonation des procédés industriels ;
- A plus long terme, développer les technologies de capture, stockage et utilisation du carbone.

[48] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten 2025).



Evolution des émissions dans l'air de CO_2e du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

ETS

Avec environ 71% des émissions de l'industrie française soumises au Système d'Echange de Quotas d'Emissions de l'Union Européenne (SEQE-UE), le secteur est notamment contraint par l'objectif européen de réduction des émissions pour le SEQE-UE de 55% en 2030 par rapport à 2005 et le prix des quotas d'émissions devient une incitation économique de plus en plus forte pour entreprendre les actions nécessaires afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. En effet, après une période relativement stable d'octobre 2018 à octobre 2020, avec un prix compris entre 17€ et 28€ par quota, celui-ci a depuis fortement augmenté, de manière constante, pour finalement dépasser 100€ par quota en février 2023, prix le plus haut constaté à ce jour. Depuis, le prix a nettement reculé, se stabilisant autour de 65€ en moyenne sur l'année 2024.

Feuilles de routes décarbonation

Comme indiqué dans la SNBC, des feuilles de route ont été développées pour plusieurs secteurs industriels : la chimie, le ciment, la métallurgie et le papier-carton. Dans le plan de relance post-Covid-19, le gouvernement a doté le fonds de décarbonation pour l'industrie de 1,2 milliard d'euros, afin que des projets touchant à l'efficacité énergétique, l'électrification et l'adaptation des procédés qui permettent de réduire les émissions de CO_2 puissent être financés et développés. Ce fonds est opéré par l'Ademe.

Feuille de route de la décarbonation de la filière chimie

Le 7 mai 2021, a été publiée une feuille de route de décarbonation de la filière chimie, élaborée grâce à la collaboration du Comité Stratégique de Filière Chimie-Matériaux et des services de l'État. Cette feuille de route prévoit une réduction de ses émissions de 26% en 2030 par rapport à 2015, soit -5,7 Mt CO_2 (c'est-à-dire une ambition plus faible que le niveau moyen de réduction prévu pour l'ensemble de l'industrie manufacturière et construction par la SNBC-2 à la même échéance, de -35%).

Cette réduction d'émissions serait atteinte via :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique (- 1,8 $MtCO_2e$),
- la production de chaleur bas-carbone (- 2,2 $MtCO_2e$), avec la combustion de combustibles solides de récupération (CSR) et de biomasse,
- la réduction des émissions de N_2O (- 0,8 $MtCO_2e$) et de HFC (-0,9 $MtCO_2e$).

Des premiers projets ont déjà été lancés avec les aides à l'investissement mises en place par l'État, et devraient permettre selon les évaluations préliminaires de réduire les émissions de la filière de -0,6 $MtCO_2e$ (9% de l'objectif).

Des leviers moins matures (hydrogène bas-carbone ; captage, stockage et valorisation de CO_2, électrification des procédés) sont envisagés pour être intégrés lors d'une mise à jour de cette feuille de route. Les premières estimations indiquent que ces leviers hypothétiques pourraient permettre une réduction de la filière chimie entre 30% et 36% (donc entre 4% et 10% supplémentaire).

Feuille de route de la décarbonation de la filière mines et métallurgie

La feuille de route de décarbonation de la filière Mines et Métallurgie, publiée le 20 mai 2021, vise en particulier les secteurs de la sidérurgie intégrée et de l'aluminium, et sur les activités de métallurgie. Pour la sidérurgie intégrée, un objectif de réduction des émissions de GES de 31% entre 2015 et 2030 (soit -7,4 $MtCO_2e$) est fixé, via différents leviers :

- L'augmentation du taux de recyclage d'acier circulaire ;
- La réduction de l'utilisation de charbon dans le haut fourneau ;
- La capture et le stockage du carbone issu des hauts-fourneaux ;
- La pré-réduction du minerai de fer par utilisation de l'hydrogène, remplacement des combustibles fossiles par des combustibles alternatifs (-0,86 Mt CO_2e en 2030).

Pour l'aluminium, dont la production est déjà fortement décarbonée par l'usage d'électricité (elle-même décarbonée par le recours au nucléaire et aux renouvelables), la feuille de route prévoit entre 5% et 9% de réduction des émissions supplémentaires entre 2015 et 2030 (soit -55 à -105 $ktCO_2e$), via les leviers suivants :

- La réduction des émissions de procédés liées à la fabrication d'aluminium primaire ;
- Par des moyens incrémentaux (transformation et recyclage de l'aluminium) ;
- Au-delà de 2030, via l'innovation et le développement de technologies de rupture.

Aidé à hauteur de 50% par l'Etat, ArcelorMittal a annoncé un investissement massif d'environ 1,8 Md€ pour la décarbonation de la production d'acier en remplaçant notamment les actuelles filières hauts-fourneaux par des aciéries électriques et hydrogène. Cette stratégie de décarbonation impliquerait une réduction des émissions de CO_2 de 6% de toute l'industrie française, faisant passer le facteur d'émission de la production d'acier d'environ 1,8 à 0,5 t CO_2/t d'acier.

Feuille de route de la décarbonation de la filière ciment

La feuille de route de décarbonation de la filière ciment, publiée le 19 mai 2021, prévoit une diminution des émissions de GES de la filière ciment de 24% en 2030, puis de 80% en 2050, par rapport à 2015. Cela s'inscrit dans la trajectoire de réduction définie par la SNBC-2 pour l'ensemble du sous-secteur de la production de minéraux non métalliques, qui vise une baisse des émissions de 24% d'ici 2030 et de 85% d'ici 2050 par rapport au niveau de référence de 2015. Cette réduction d'émissions serait atteinte via plusieurs leviers :

- Une amélioration de l'efficacité énergétique via l'amélioration des procédés (- 0,32 $MtCO_2e$ en 2030) ;
- Le remplacement des combustibles fossiles par des combustibles alternatifs (- 0,86 $MtCO_2e$ en 2030) ;
- L'augmentation de la part de biomasse (déchets biosourcés) dans les combustibles (-0,20 Mt CO_2e en 2030) ;
- La diminution de la teneur en clinker des ciments (-0,93 Mt CO_2e en 2030) ;
- Le développement de ciments alternatifs (technologie de rupture dont les impacts sont non chiffrés en l'absence de données disponibles) ;
- La capture, l'utilisation et le stockage de carbone (levier utilisé après 2030, il permet à lui seul de réduire de 47% le bilan de production d'une tonne de ciment entre 2015 et 2050 ; et une réduction d'émissions de -5 Mt CO_2e en 2050) ;
- Le recyclage du béton, dans une logique d'économie circulaire (notamment dans le cadre du Comité Stratégique de Filière Industries pour la Construction).

A titre de comparaison, en janvier 2020, Cembureau, l'Association européenne du Ciment, groupement d'intérêt de l'industrie cimentière, a publié un document intitulé « *Building carbon neutrality in Europe* » (Construire la neutralité carbone en Europe). Il dresse un état des lieux des actions d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre de l'industrie cimentière et fixe de nouveaux objectifs compatibles avec l'objectif de neutralité carbone en 2050. Les chiffres présentés sont exprimés en $kgCO_2$ par tonne de ciment, ce qui ne permet pas d'établir un objectif de réduction d'émissions pour l'ensemble du secteur, celui-ci étant alors nécessairement lié au niveau de production. De plus, l'atteinte des objectifs est conditionnée par l'utilisation à une échelle industrielle de procédés encore en phase de test (recours à une réaction chimique avec moins de décarbonatation, captage et stockage du carbone, clinker nécessitant moins de chaleur), ou le recours à des puits de carbone naturels, qui sont limités. Il apparait donc que de nombreuses incertitudes (technologiques, scientifiques et économiques) résident encore sur la capacité du secteur à atteindre la neutralité carbone en 2050.

Feuille de route de la décarbonation de la filière verre

La feuille de route de décarbonation de la filière verre, publiée fin 2023, fixe un objectif de réduction des émissions de GES de la filière de 30% en 2030 et de 88% en 2050, comparé au niveau de 2015, correspondant à

des baisses de 0,8 et 2,4 MtCO2e, respectivement. Les leviers de réduction des émissions identifiés sont les suivants :

- l'augmentation du taux de recyclage via l'utilisation de calcin issu de la collecte ;
- l'amélioration de l'efficacité énergétique via, par exemple, du préchauffage de la charge, de la récupération de chaleur fatale ou la rénovation des fours ;
- le changement de mix énergétique avec notamment l'électrification des procédés, l'abandon du fioul et la substitution du gaz naturel par du biométhane et, à horizon 2050, le recours à l'hydrogène.

Feuille de route de la décarbonation de la filière papier-carton

La feuille de route de décarbonation de la filière papier-carton, publiée le 9 mars 2022, fixe un objectif de réduction des émissions de GES de la filière de 39% en 2030, comparé au niveau de 2015. Une réduction des émissions est visée alors que la capacité de production est prévue d'augmenter de 5% sur cette même période. Plusieurs leviers de décarbonation ont été identifiés :

- l'efficacité énergétique via la récupération de chaleur fatale ou l'autoconsommation de biogaz ;
- la production de chaleur bas-carbone, via des combustibles comme la biomasse ou les combustibles solides de récupération.

Détail par gaz à effet de serre

CO_2| Dioxyde de carbone

Tendance générale

Les émissions de CO_2 de l'industrie manufacturière ont quatre origines :

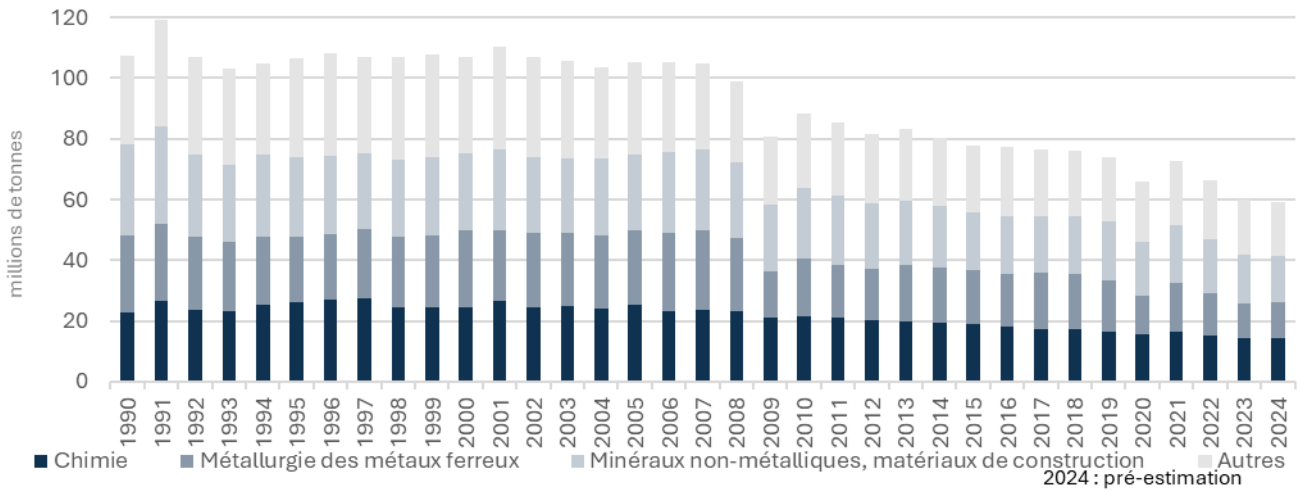
- La combustion des combustibles fossiles et de la biomasse (cette dernière étant comptabilisée dans la catégorie "hors total" conformément aux exigences internationales),
- L'utilisation non énergétique de combustibles en tant qu'intermédiaires ou réducteurs,
- La décarbonatation (cf. chapitre "Evolution des émissions – Substances relatives à l'accroissement de l'effet de serre – CO_2"),
- La conversion des émissions de COVNM induites par l'application de peinture, le dégraissage, le nettoyage à sec, la fabrication et la mise en œuvre de produits chimiques ainsi que les autres utilisations de solvants (SNAP 0601, 0602, 0603 et 0604 de l'annexe 3) en CO_2 ultime.

Le CO_2 étant un produit fatal de la combustion et, en l'absence à ce jour de dispositifs de captage de ce gaz sur les installations de combustion, les émissions suivent d'assez près l'évolution de la consommation d'énergie fossile. En termes d'évolution entre 1990 et 2023, les émissions de CO_2 de l'industrie manufacturière en France métropolitaine (hors biomasse) ont baissé de 47,7 Mt, soit une baisse de 44%. Cette diminution s'observe dans tous les sous-secteurs, sauf la construction qui est à l'équilibre, mais dans des proportions différentes compte tenu de la variabilité de leur consommation énergétique et de l'évolution du mix des combustibles.

En 2009, une baisse importante des émissions de CO_2 a été observée (-18% entre 2008 et 2009) du fait de la crise économique. Les sous-secteurs les plus touchés par cette crise sont ceux des minéraux non-métalliques et de la métallurgie des métaux ferreux. Depuis la reprise de l'activité amorcée dès 2010, les émissions ont baissé de 32%.

En 2020, la crise du Covid-19 a entrainé une baisse de l'activité industrielle avec une reprise par la suite (-11% d'émissions de CO_2 comparé à 2019). Après une reprise de l'activité en 2020 (+10% des émissions comparé à 2020), la tendance est de nouveau à la baisse depuis avec des réductions d'émissions de 9% et 10% en 2022 et 2023. La pré-estimation de 2024 prévoit une baisse de 1% par rapport au niveau de 2023. Pour plus de détails sur les tendances récentes par sous-secteur de l'industrie, voir paragraphes ci-après.

Les émissions de CO_2 de la biomasse (non comptabilisées dans ce secteur mais via le secteur UTCATF), entre 1990 et 2023, ont augmenté de 136,4%. Ces émissions varient légèrement entre les années, du fait principalement de la variation de la consommation de bois et de la liqueur noire dans le sous-secteur du papier/carton.



Répartition des émissions de CO_2 du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

Chimie

Depuis 2015, les émissions de CO_2 de la chimie sont en baisse légère mais progressive, jusqu'à 2020 qui marque un décrochage dans les émissions suite à la crise sanitaire du Covid-19, avec un niveau 17% en dessous de celui de 2015. Suite à la crise de 2020, les émissions ont ensuite connu un rebond en 2021 (+5% comparé à 2020). Depuis, les émissions du sous-secteur diminuent et atteignent selon les estimations 14,2 Mt CO_2 en 2023, plus faible niveau observé sur la série.

Ceci est notamment dû aux chutes de productions de certains produits qui sont des sources d'émissions importantes comme, par exemple, l'ammoniac (-19% entre 2022 et 2023) ou l'acide nitrique (-10% sur la même période), entre autres. Les consommations de combustibles ont également chuté d'environ 9% entre 2022 et 2023, avec notamment une forte baisse des combustibles solides (-25% entre les deux années) bien qu'ils soient minoritaires dans le mix énergétique total.

Construction

Depuis 2015, les émissions de CO_2 du sous-secteur de la construction sont très stables (3,5 Mt CO_2/an en moyenne) et varient seulement avec l'activité du secteur et donc, indirectement, les consommations de combustibles des engins.

Biens d'équipements, matériels de transport

Entre 2015 et 2019, les émissions de CO_2 de ce sous-secteur sont restées globalement stables. Elles ont ensuite connu une hausse marquée en 2020 (+20% par rapport à 2019), principalement en lien avec l'augmentation des consommations de combustibles du secteur, en particulier celle du gaz naturel (+25% par rapport à 2019). Cette tendance s'est prolongée par une légère hausse en 2021, atteignant 3,1 Mt CO_2, avant un retour aux niveaux observés sur la période 2015-2019 à partir de 2022. Les émissions du sous-secteur sont estimées à 2,4 Mt CO_2 pour l'année 2023.

Agro-alimentaire

Les émissions de CO_2 du sous-secteur agro-alimentaire sont en légère baisse continue depuis 2015, à l'exception de l'année 2019 dû à son contexte particulier, qui constitue une baisse plus soudaine, suivi d'un léger rebond en 2021. Depuis 2021, les émissions du sous-secteur diminuent, atteignant en 2023 leur niveau le plus bas sur l'ensemble de la série, avec 6,7 Mt CO_2, soit une baisse de 10% par rapport à 2022.

Pour ce sous-secteur, les émissions de CO_2 sont liées à la combustion de combustibles, qui a chuté de 7% entre 2022 et 2023. Le gaz naturel, combustible dominant dans le mix énergétique du sous-secteur, a vu sa consommation diminuer de 11% entre 2022 et 2023.

Métallurgie des métaux ferreux

Entre 2015 et 2019, les émissions de CO_2 de ce sous-secteur ont fluctué entre 17 et 19 Mt, avant de connaitre une baisse drastique en 2020, suite à la crise sanitaire. Entre 2019 et 2020, les émissions ont chuté de plus de 24%. En 2021, celles-ci ont augmenté sans atteindre pour autant les niveaux d'émission d'avant-crise. Les émissions du sous-secteur ont ensuite repris leur tendance à la baisse, enregistrant une diminution de 18% en 2023 par rapport à 2022. Elles sont estimées à 11,6 Mt CO_2 en 2023, soit le niveau le plus observé sur l'ensemble de la série. Ces variations d'émissions s'expliquent principalement par l'évolution de la production d'acier qui a chuté de 21% entre 2019 et 2020, puis réaugmenté de 17% en 2021 avant de baisser à nouveau de 10% en 2022 et de 18% en 2023. Les consommations de combustibles évoluent de façon relativement proportionnelle à la production totale

d'acier également et ont chuté de 6% au total entre 2022 et 2023.

Métallurgie des métaux non-ferreux

Sur la période 2010-2015, les émissions du sous-secteur étaient stables, à 2,2 Mt CO_2. Un pic a ensuite été observé en 2016 à 2,6 Mt CO_2, avant de diminuer globalement, à l'exception d'un rebond à 2,1 Mt CO_2 en 2021 en sortie de crise du Covid 19. Par la suite, les émissions du sous-secteur n'ont cessé de diminuer pour atteindre leur niveau le plus bas en 2023, à 1,8 Mt CO_2, soit une diminution de 11% par rapport à 2022. Cette baisse des émissions s'explique par la réduction des niveaux de production des métaux non-ferreux fortement émetteurs, notamment une diminution de 3% de la production d'aluminium de première fusion et de 7% pour celle de seconde fusion, accompagnée d'une baisse induite des consommations de combustibles.

Minéraux non-métalliques, matériaux de construction

Les émissions de CO_2 du sous-secteur des minéraux non-métalliques et matériaux de construction sont restées relativement stables entre 2015 et 2022, avec une moyenne d'environ 19 Mt CO_2 sur la période. Sur cette même période, seule l'année 2020 fait exception, avec une baisse à17,5 Mt CO_2, en lien avec la crise Covid-19. Après être reparties à la hausse et avoir atteint un niveau similaire à celui pré-crise en 2021, les émissions de CO_2 de ce sous-secteur ont baissé de plus de 6% en 2022 puis de 10% en 2023.

Dans les années récentes, les émissions de CO_2 de ce sous-secteur évoluent principalement avec la variation des activités des principales sources d'émissions, à savoir les productions de clinker, de verre et de chaux notamment. En 2023, les productions de ces divers produits ont toutes baissé comparé à 2022, : -11% pour le clinker, -10% pour le verre total et -13% pour la chaux. Cette baisse des niveaux de production s'accompagne d'une diminution de la consommation totale de combustibles dans le sous-secteur, en recul de 8% en 2023 par rapport à 2022. L'ensemble des combustibles composant le mix énergétique du sous-secteur est concerné par cette tendance. La diminution est particulièrement marquée pour le gaz naturel, dont la consommation a chuté de 10% sur l'année 2023.

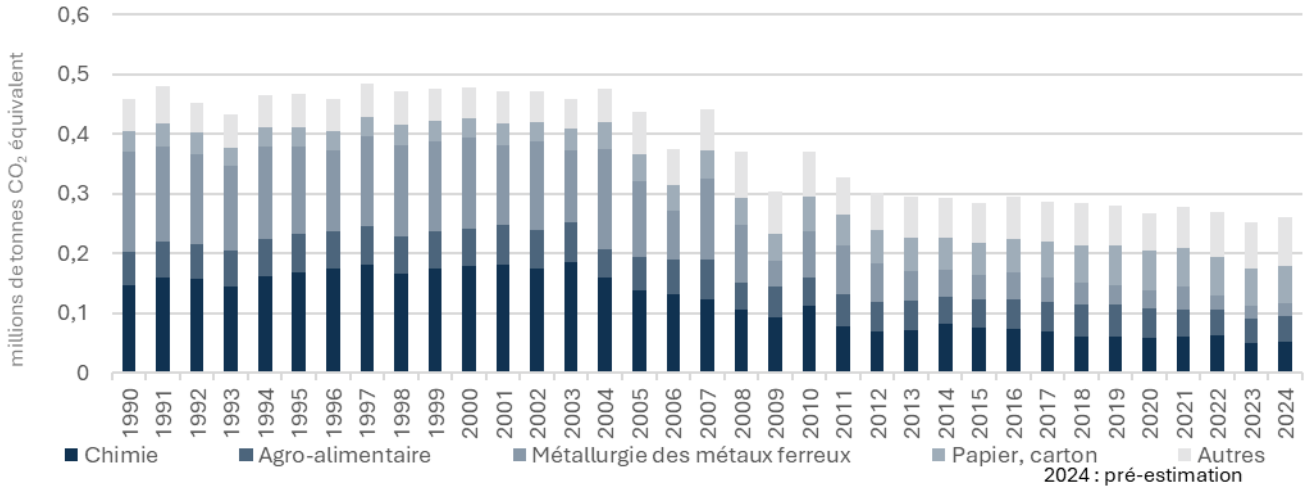
Papier-carton

Depuis 2015, les émissions de la filière papier-carton sont en légère baisse continue, atteignant un minimum à 2,0 MtCO_2 en 2023. Au total, la réduction des émissions de CO_2 observée entre 2015 et 2023 est de 24%, et de 9% entre 2022 et 2023. Les émissions ont chuté plus rapidement que la production de pâtes à papier, qui a baissé de 16% entre 2015 et 2023. Entre 2022 et 2023, la production de pâte à papier et la consommation totale de combustibles ont diminué au même rythme, avec une baisse de 8% chacune.

Autres industries manufacturières

Pour le sous-secteur des autres industries, les émissions de CO_2 étaient relativement stables entre 2015 et 2019, avant de connaître une chute assez significative en 2020 (-22% comparé au niveau de 2019), liée à la crise sanitaire. Un effet rebond est observé en 2021, avec une augmentation des émissions de 8% par rapport à 2020, mais bien qu'elles demeurent inférieures au niveau pré-crise de 2019. Les émissions se stabilisent ensuite de nouveau en 2022 et 2023, à 1,7 Mt CO_2.

CH_4 | Méthane



Répartition des émissions de CH4 du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

Les émissions de CH_4 du secteur de l'industrie manufacturière sont assez faibles sur la période 1990-2023, et ne représentent que 0,5% du total national en moyenne. Celles-ci ont chuté de -45% entre 1990 et 2023, notamment grâce aux réductions des sous-secteurs de la chimie (-66%) et de la métallurgie des métaux ferreux (-87%), les deux principaux contributeurs historiques représentant, respectivement, 32% et 36% du total du secteur en 1990. La répartition actuelle des émissions de CH_4 dans l'industrie manufacturière a évolué, les trois principaux sous-secteurs émetteurs étant désormais le papier-carton, suivi de la chimie, puis de l'agroalimentaire.

Les émissions de CH_4 du secteur sont principalement liées à la combustion de biomasse solide et, dans une moindre mesure, de déchets industriels solides, ainsi qu'à certains procédés comme les productions de propylène et éthylène, de coke et de silicium.

N_2O | Protoxyde d'azote

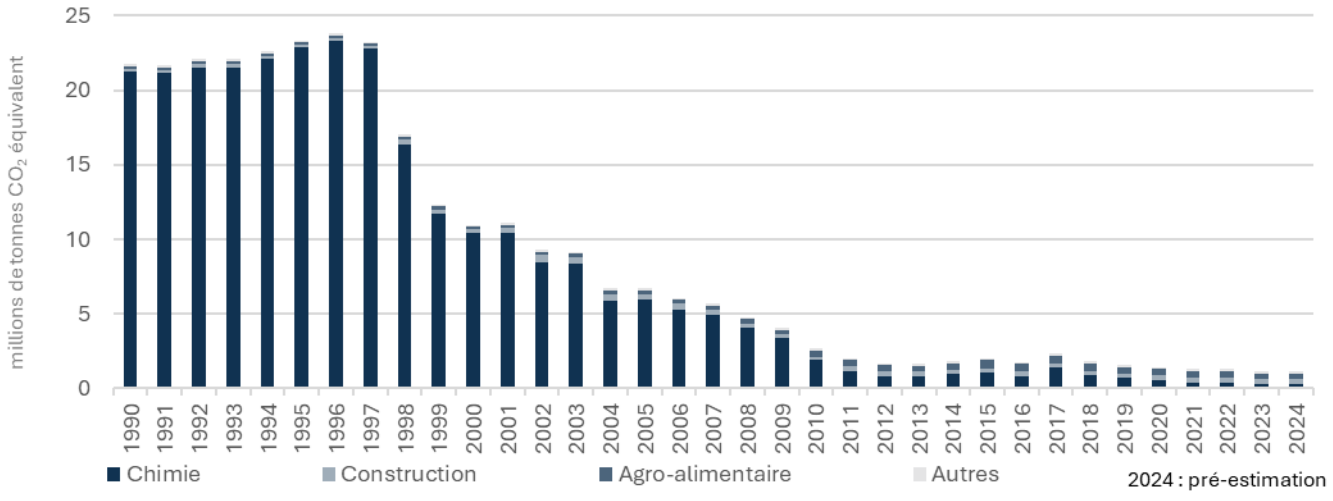
Les émissions de N_2O du secteur de l'industrie manufacturière et de la construction ont drastiquement chuté depuis 1990, passant de 21,8 à 1,1 $MtCO_2e$, soit une chute de 95%. Ainsi, la contribution du secteur au total national d'émissions de N_2O a également baissé significativement, passant de 40,5% en 1990 à 4,2% en 2023.

La baisse des émissions du secteur de l'industrie est presque uniquement due au sous-secteur de la chimie, qui était responsable de 98% des émissions du secteur en 1990 et qui a réduit ses émissions de 99% entre 1990 et 2023. Les émissions de N_2O de la chimie sont majoritairement dues aux productions d'acide nitrique, d'acide adipique et d'acide glyoxylique. Les émissions ont fortement diminué grâce à la mise en place de catalyseurs destinés à l'élimination du N_2O, ainsi qu'à la réduction des activités suite à la fermeture de plusieurs sites de production. En effet, 10 des 19 sites de production d'acide nitrique présents en 1990 ont fermé entre 1991 et 2009, en particulier les ateliers non conformes.

La baisse significative des émissions en 1998 correspond à l'installation d'un atelier de destruction du N_2O sur l'un des plus gros sites de production d'acide adipique. La baisse observée entre les années 2003 et 2004 est majoritairement due au renouvellement d'un élément du système de traitement de la production d'acide adipique. A l'inverse, l'augmentation des émissions observée en 2017 est due à une défaillance de l'unité de traitement du N_2O.

En 2023, le sous-secteur prépondérant est celui de l'industrie agro-alimentaire, avec 33% des émissions du secteur de l'industrie manufacturière et de la construction, alors que celui de la chimie ne représente plus que 27% des émissions de N_2O du secteur. Enfin, le sous-secteur de la construction est le troisième principal contributeur, désormais au même niveau d'émissions de N_2O, dû principalement à la combustion de GNR dans les EMNR des chantiers et du BTP. Les émissions de ce sous-secteur ont augmenté de 30% entre 1990 et 2023.

L'évolution récente des émissions de N_2O est principalement due à la variation des activités (productions de produits ou consommations de combustibles) dans les différents sous-secteurs majoritairement émetteurs.



Répartition des émissions de N_2O du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

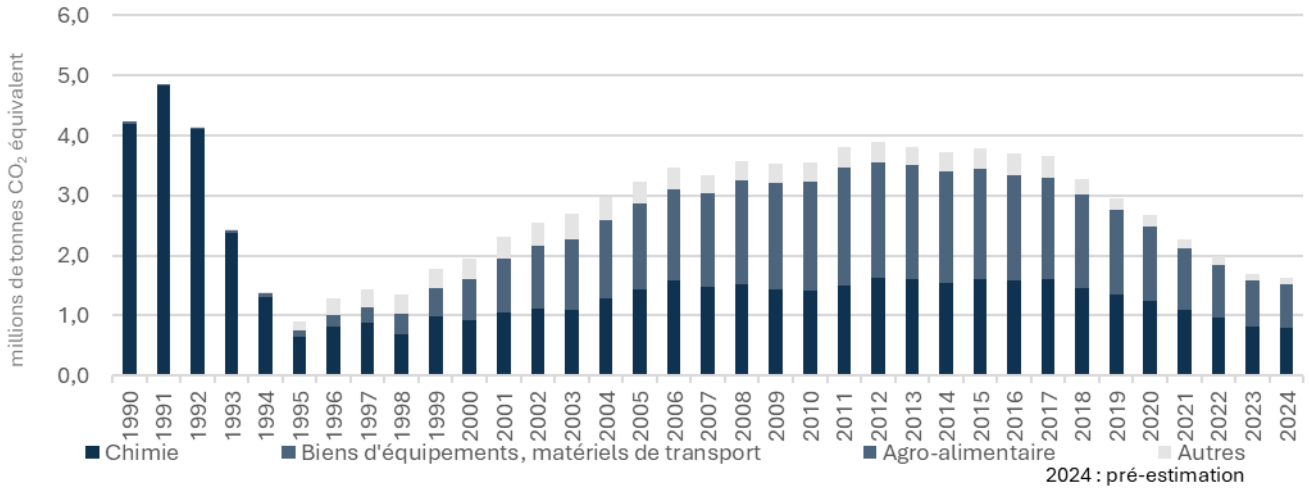
HFC | Hydrofluorocarbure

Après une longue période relativement stable, de 2005 à 2015, les émissions de HFC de l'industrie manufacturière sont en forte baisse depuis 2017 et la mise en application de la règlementation (UE) n° 517/2014 qui a fortement impacté le marché des HFC et, progressivement, les émissions liées à leur usage.

Sur l'historique, deux phases peuvent être distinguées :

- De 1990 à 1995, les émissions sont en baisse (-79%) du fait de la mise en œuvre de traitements (oxydation, renouvellement d'ateliers) dans le secteur de la chimie,
- A partir de 1996, les émissions sont à la hausse du fait de l'utilisation de HFC en substitution des CFC puis des HCFC, étant donné l'interdiction progressive d'utilisation et de mise sur le marché des substances appauvrissant la couche d'ozone.

Les émissions de HFC sont en baisse après le pic observé en 2012 et plus sensiblement depuis 2017, atteignant, en 2023, un niveau équivalent à celui de 1999.



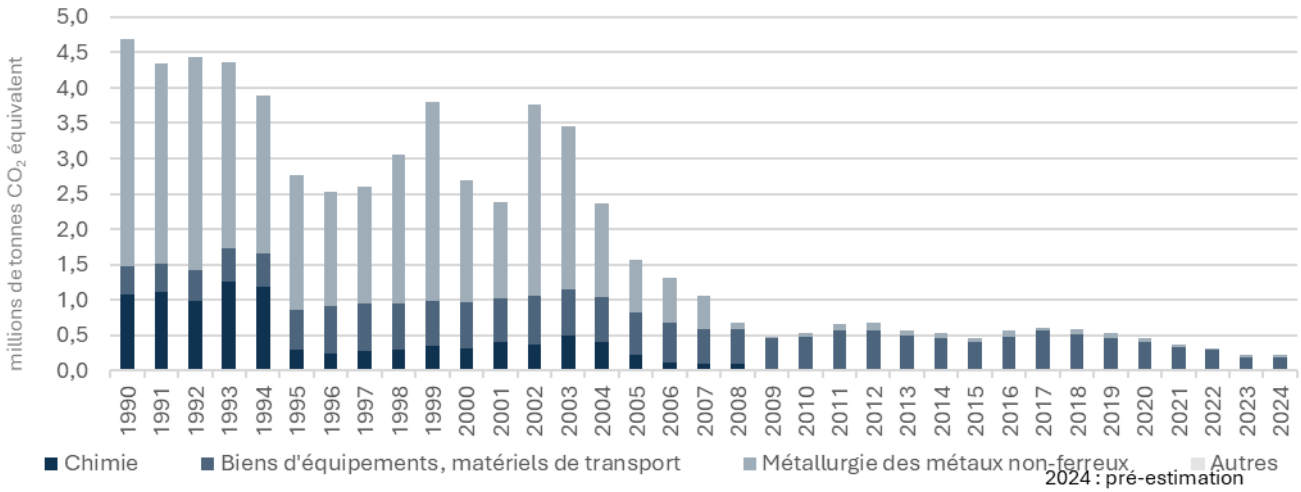
Répartition des émissions de HFC du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

PFC | Perfluorocarbures

Entre 1990 et 1999, toutes les émissions nationales de PFC sont entièrement imputables au secteur de l'industrie manufacturière. A partir de 2000, d'autres secteurs commencent à contribuer au total national. Ces contributions restent toutefois marginales, puisqu'en 2023, l'industrie manufacturière est responsable de 98,3% des émissions de PFC.

Dans le secteur de l'industrie manufacturière, les principales sources d'émissions de PFC sont :

- La production d'aluminium de première fusion,
- La production de trifluoroacétique ou TFA,
- La fabrication des semi-conducteurs,
- L'utilisation de PFC comme solvant et fluide.



Répartition des émissions de PFC du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

Sur la période 1990-2023, les émissions du secteur ont diminué d'environ 95% avec des fluctuations importantes selon les années du fait de la variation des activités de production d'une année à l'autre, combinée à l'efficacité accrue des procédés et des traitements des émissions. L'année 2023 correspond au niveau le plus bas observé sur la période.

Entre 1990 et 2015, la forte baisse observée dans le sous-secteur de la métallurgie des métaux non ferreux (-98%) s'explique, d'une part, par les progrès réalisés par les industriels, en particulier les efforts portés sur la limitation de l'effet d'anode qui est responsable des émissions de PFC-14 et PFC-116 lors de la production d'aluminium de première fusion et, d'autre part, par la fermeture de deux sites de production d'aluminium de première fusion, l'un en 2003 et l'autre en 2008. Depuis 2009, les émissions restent relativement stables, avec un pic sur la période 2011-2014 et un second en 2016.

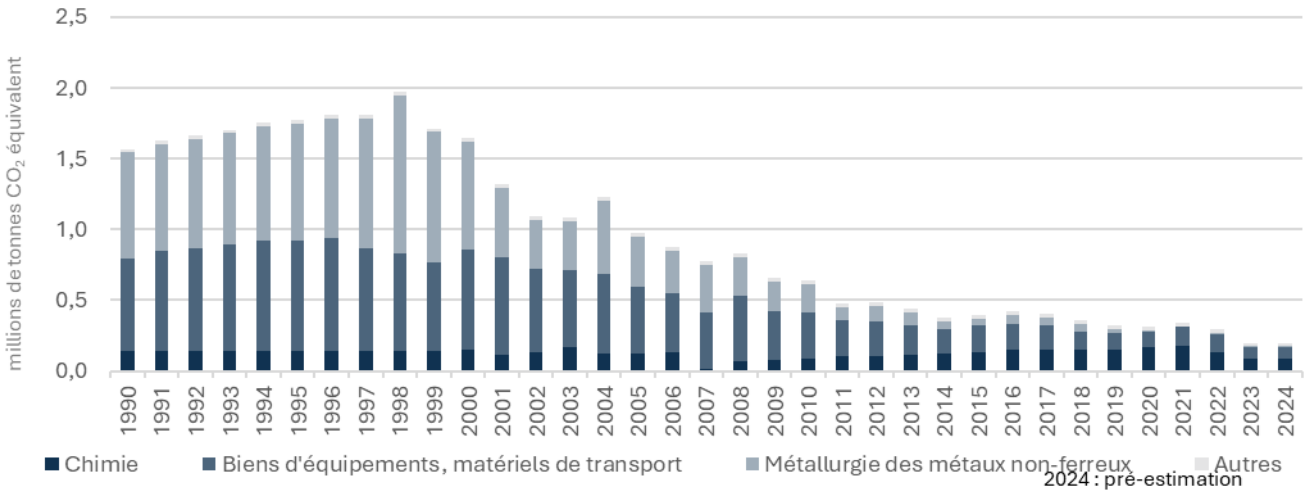
En ce qui concerne le sous-secteur de la chimie, sur cette même période, il a lui aussi connu une très forte baisse de ses émissions et jusqu'à une élimination de celles-ci à partir de 2018. Les émissions ont particulièrement baissé en 1995 et en 2006 suite à la mise en place de dispositifs de réduction des émissions sur les différents sites de production puis, à partir de 2008, suite à la mise en place d'un oxydateur sur un site de production de trifluoroacétique (TFA) (forte baisse des émissions de CF_4).

Depuis 2007, le sous-secteur des biens d'équipements et matériels de transports est le principal contributeur. Sa contribution a augmenté graduellement depuis 1990, pour s'établir à 91% en 2023. Ses émissions sont restées relativement stables entre 2005 et 2017, et sont en déclin depuis cette période, avec une baisse interannuelle de -32% en 2023.

SF_6 | Hexafluorure de soufre

Sur la période 1990-2023, les émissions de SF_6 ont baissé d'environ 87%. Cependant, on observe une augmentation des émissions de SF_6 en 2021, atteignant 344 kt CO_2e soit une augmentation de 10% par rapport à l'année précédente. Les émissions de SF6 ont de nouveau diminué depuis 2022, atteignant leur niveau le plus bas sur l'ensemble de la série en 2023 (200 ktCO_2e).

Cette réduction (depuis 1990) est plus marquée dans le sous-secteur de la métallurgie des métaux non ferreux (- 100%), en particulier, du fait de la baisse de la consommation de SF_6 dans l'industrie du magnésium, à la fois dans l'activité des fondeurs et pour le seul site de 1ère fusion qui, de plus, a arrêté son activité en 2002. Il convient de noter que ce dernier s'est reconverti pour recycler le magnésium et consomme à nouveau du SF6 à partir de 2003. Depuis 2006, le SF_6 n'est plus utilisé par ce site puisque le nouvel exploitant a substitué son utilisation par un autre produit, le NaCl. Cette fonderie a fermé début 2010.



Répartition des émissions de SF_6 du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

Le sous-secteur de la chimie a connu également une très forte baisse sur la période 1990-2007 (-91%), et plus particulièrement entre 2006 et 2007 suite à la mise en place en 2007, pour un site de transformation du tétrafluorure d'uranium en hexafluorure d'uranium, d'un procédé qui recycle le fluor. Les émissions sont depuis lors significativement remontées pour atteindre un niveau maximal de 179 kt CO_2e en 2021. Cette réversion de tendance est due à la prise en compte des émissions, à partir de 2008, d'un site de régénération de SF_6 récupéré. Les émissions de SF_6 pour le sous-secteur de la chimie ont diminué de 27% en 2022 par rapport au niveau d'émission de 2021, puis de 36% entre 2022 et 2023. Cette diminution s'explique principalement par une baisse d'activité conséquente d'un site de production d'hexafluorure de soufre.

NF_3 | Trifluorure d'azote

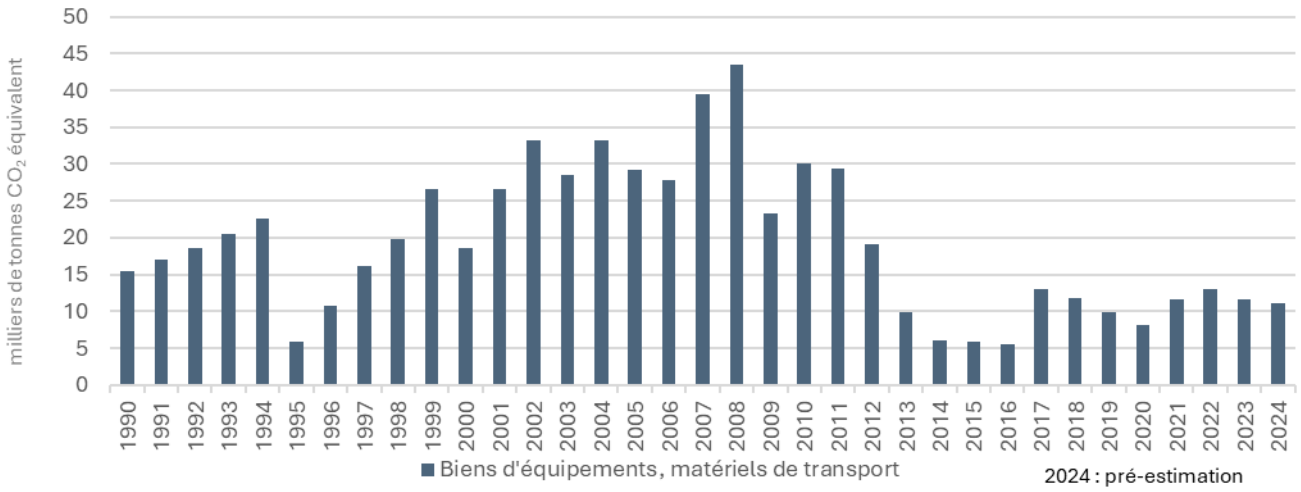
Depuis 1990, toutes les émissions nationales de NF_3 sont imputables au secteur de l'industrie manufacturière, et plus particulièrement au sous-secteur des « biens d'équipement, matériels de transport », du fait de la fabrication de semi-conducteurs.

Sur la période 1990-2016, les émissions de ce secteur ont diminué de 65% (-10,0 ktCO_2e). Un premier pic d'émissions est observé en 2017, juste après le creux enregistré en 2016. Un second pic survient en 2022, avec des émissions atteignant 12 ktCO_2e. Selon les estimations, les émissions repartent ensuite à la baisse, enregistrant un recul de 10% en 2023.

Les évolutions des émissions de NF_3 sur la période 1990-2023 sont liées aux fluctuations annuelles des quantités de NF_3 achetées et utilisées par les différentes usines pour la gravure des micro-processeurs et le nettoyage des chambres CVD (*Clean Vapour Deposition*) ainsi qu'à la mise en place d'une technique de réduction des émissions.

Il est à noter que le secteur de l'industrie manufacturière et de construction est le seul contributeur aux émissions nationales de NF_3. Par rapport au total national, ce secteur est un contributeur majeur également pour les émissions de :

- **PFC** (plus de 99% en moyenne sur la période 1990-2023),
- **SF_6** (66% en moyenne),
- **SO_2** (39% en moyenne),
- **CO** (26% en moyenne),
- **As** (45% en moyenne),
- **Cd** (51% en moyenne),
- **Cr** (47% en moyenne),
- **Hg** (47% en moyenne),
- **Ni** (41% en moyenne),
- **Pb** (31% en moyenne), qui est devenu prépondérant après 2000 suite à l'introduction de l'essence sans plomb,
- **Se** (70% en moyenne),
- **Zn** (39% en moyenne),
- **TSP** (24% en moyenne),
- **PCB** (48% en moyenne).



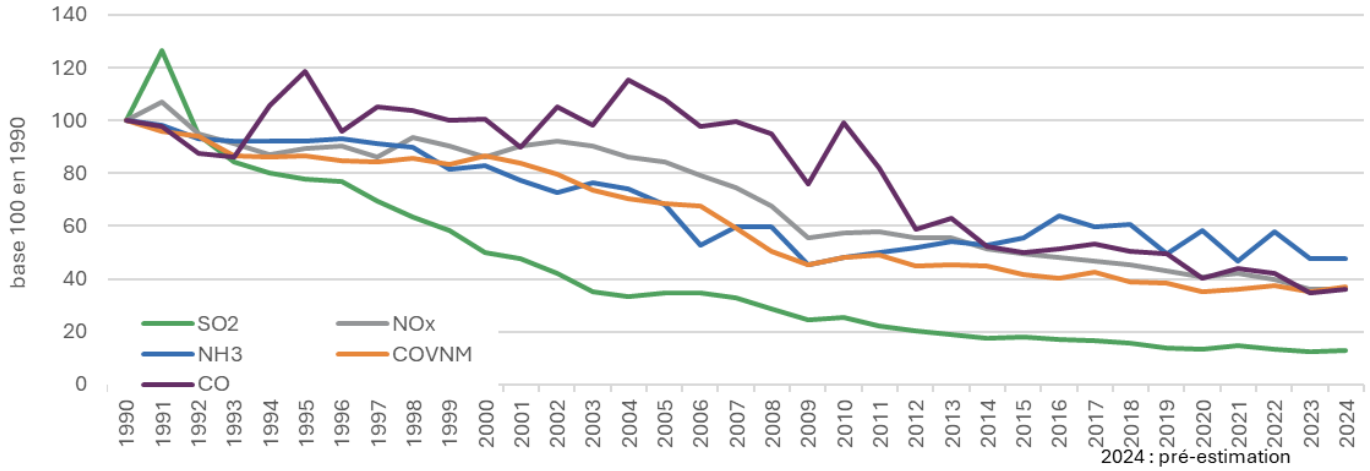
Répartition des émissions de NF_3 du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole et Outre-mer UE)

Émissions de polluants atmosphériques

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique (AEPP)

Tendance

Tous les polluants responsables de l'acidification, de l'eutrophisation et de la pollution chimique de l'atmosphère ont vu leurs émissions baisser depuis 1990. La tendance est très bien marquée pour les NOx, les COVNM et le SO_2. Les autres polluants ont connu des variations plus ou moins marquées depuis 1990.



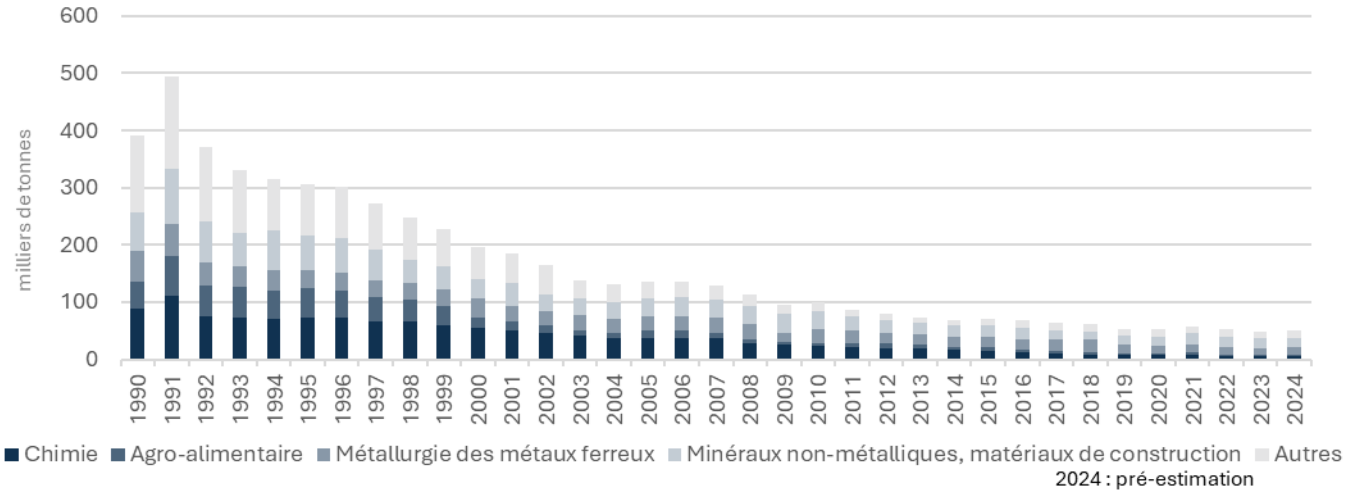
Evolution relative des émissions du secteur de l'industrie manufacturière et construction des substances de l'AEPP en France (Métropole) (base 100 en 1990)

Le secteur de l'industrie manufacturière et construction contribue et évolue de la façon suivante pour les différents polluants responsables de l'acidification, de l'eutrophisation et de la pollution chimique de l'atmosphère :

- SO_2 : 39% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 61% du total national en 2023, contre 30% en 1990 ;
- NOx : 16% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 12% du total national en 2023, contre 11% en 1990 ;
- NH_3 : la contribution du secteur au total national est restée stable depuis 1990, autour de 1% ;
- COVNM : 20% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 19% du total national en 2023;
- CO : 26% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 26% du total national en 2023, contre 16% en 1990.

SO_2 | Dioxyde de soufre

Les émissions de SO_2 sur la période 1990-2023 ont très fortement baissé (-88%). La première partie de cette baisse a eu lieu jusqu'en 2003, où les plus réductions les plus importantes ont été observées, puis, depuis 2007, une réduction moins conséquente mais continue est observée. L'année 2023 représente le niveau le plus bas observé depuis 1990 (48 kt). A noter que la crise financière de 2008 a entrainé une forte baisse des émissions (-13% en 2008 par rapport à 2007, puis -15% en 2009 par rapport à 2008). Les émissions ont légèrement augmenté en 2010 (en restant nettement inférieures au niveau de 2007), puis ont baissé jusqu'à 2023.



Répartition des émissions de SO_2 du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

La diminution globale des émissions de SO_2 s'observe sur l'ensemble des sous-secteurs et s'explique essentiellement par :

- L'évolution du mix énergétique (le gaz naturel et la biomasse sont de plus en plus utilisés),
- La baisse d'activité observée dans certains secteurs,
- La mise en conformité des Grandes Installations de Combustion (GIC, d'une puissance nominale > 50 MW) avec la réglementation, puis les arrêtés combustion sur les moyennes installations de combustion,
- La réduction de la teneur en soufre de certains produits pétroliers, en particulier le fioul lourd ainsi que le fioul domestique au 1er janvier 2008,

La mise sur le marché du gazole non routier (GNR) en 2011 en remplacement du fioul domestique pour les engins notamment du BTP.

NO_X | Oxydes d'azote

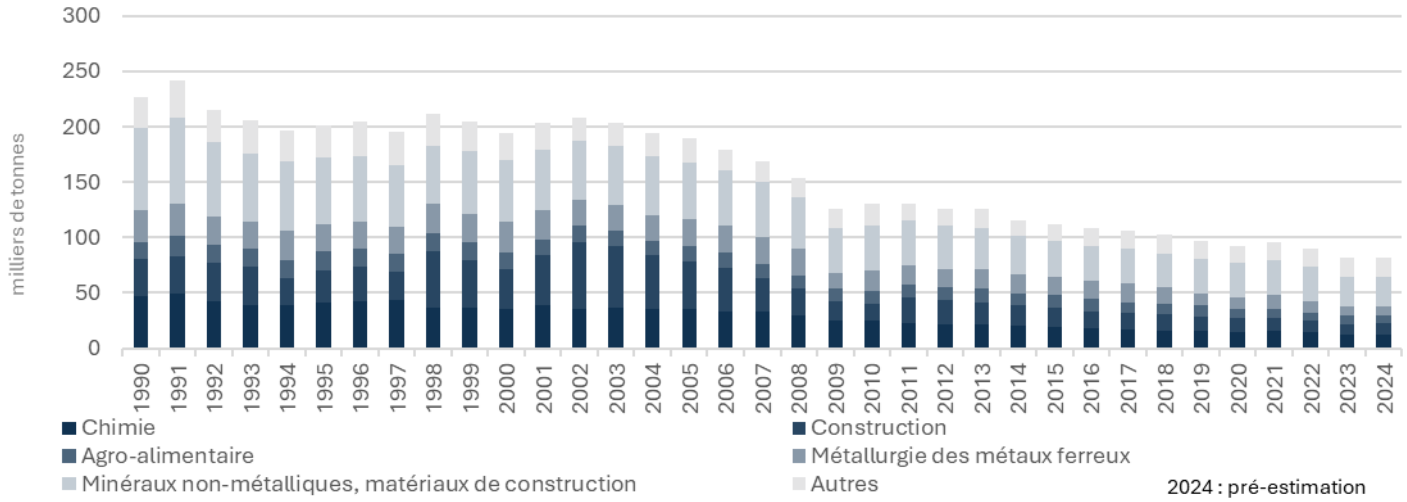
La combustion des combustibles fossiles et de la biomasse est la principale source d'émissions de NOx dans le secteur de l'industrie manufacturière et construction.

Sur la période 1990-2023, les émissions de NOx du secteur de l'industrie manufacturière et construction ont connu une baisse significative de 64%. Cette réduction est imputable essentiellement aux progrès réalisés par les industriels depuis de nombreuses années, en particulier du fait d'une meilleure performance des installations industrielles et de la mise en œuvre de techniques de réduction des NOx sur certains sites industriels (notamment dans les sous-secteurs des minéraux non-métalliques et des matériaux de construction, de la métallurgie et de la chimie), ainsi qu'aux réglementations sur les engins mobiles non routiers.

Deux baisses successives trouvent des explications dans les règlementations mises en place et dans la situation économique, particulièrement pour les sous-secteurs de la construction et de la métallurgie des métaux ferreux. La première, entre 2007 et 2008 (-15kt, soit -9%) résulte en partie de la mise en œuvre des textes transposant la directive sur les grandes installations de combustion (nouvelles valeurs limites d'émission à respecter à partir de 2008). La seconde entre 2008 et

2009 s'explique en grande partie par la conjoncture économique de la France (-18%, soit -28 kt). Après une légère augmentation des émissions en 2010 du fait d'une certaine reprise progressive de l'activité économique, celles-ci sont en baisse pour atteindre le niveau le plus bas en 2023 sur la période 1990-2023 (baisse de 38% entre 2011 et 2023).

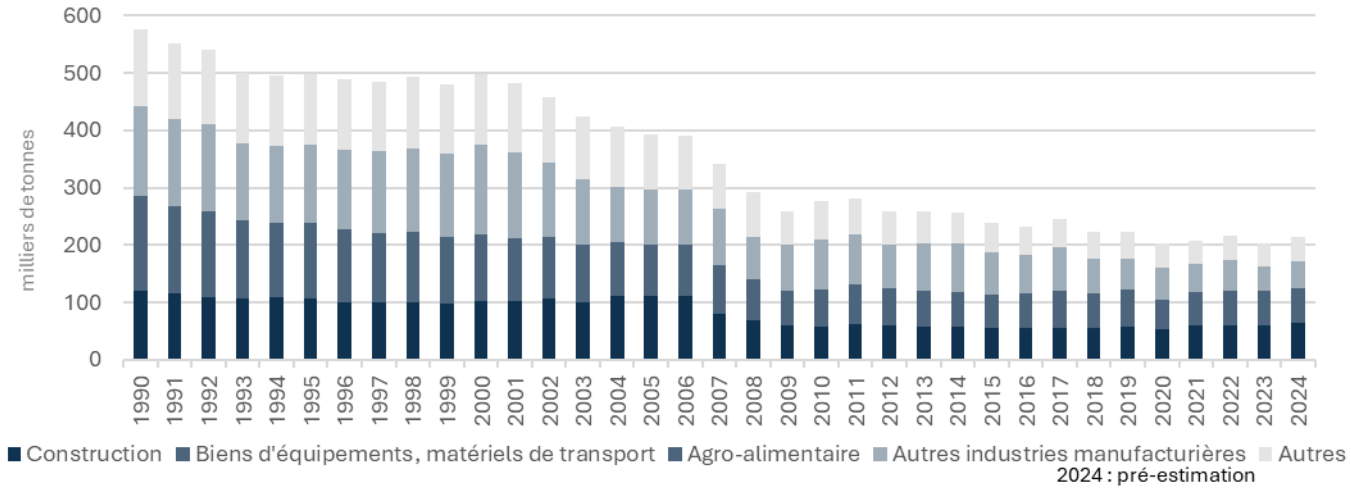
Concernant spécifiquement le sous-secteur de la construction, la baisse graduelle observée des émissions à partir de 2002 est liée majoritairement à la mise en application des règlementations sur les engins mobiles non-routiers (EMNR) utilisés dans le Bâtiment et les Travaux Publics. Le renouvellement du parc des EMNR dans le secteur du BTP est également une des causes de cette diminution des émissions.



Répartition des émissions de NOx du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

COVNM | Composés organiques volatils

Entre 1990 et 2023, les émissions de COVNM du secteur de l'industrie ont diminué de 65%, avec la plus forte baisse enregistrée par le sous-secteur des biens d'équipement et matériels de transport (-110 kt). Toutefois, tous les sous-secteurs ont connu une baisse de leurs émissions, à l'exception des sous-secteurs de l'agro-alimentaire et, à un niveau moins important, celui du papier-carton, qui ont vu leurs émissions relativement stables, voire en légère progression, dû notamment à l'utilisation accrue de biomasse solide.



Répartition des émissions de COVNM du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Sur l'ensemble de la période, les principales sources de réduction correspondent :

- aux applications de peinture et à l'imprimerie du fait des actions combinées de la mise en œuvre de dispositifs de réduction des émissions (oxydateur, adsorption), de la substitution par

des produits à plus faible teneur en solvants, l'automatisation des lignes de productions et enfin de la fermeture de certains sites ;
- au dégraissage des métaux suite à l'introduction progressive de machines hermétiques et à la substitution des produits chlorés utilisés par des produits lessiviels non solvantés.

En 2009, la baisse observée des émissions est imputable, d'une part, à la baisse dans le sous-secteur des autres industries manufacturières (principalement du fait du ralentissement de l'activité de l'imprimerie) et, d'autre part, à la diminution dans le sous-secteur de la construction (suite à une réduction en 2009 de la consommation de peinture dans le bâtiment et de la quantité de solvants associée suite à la crise économique de 2008).

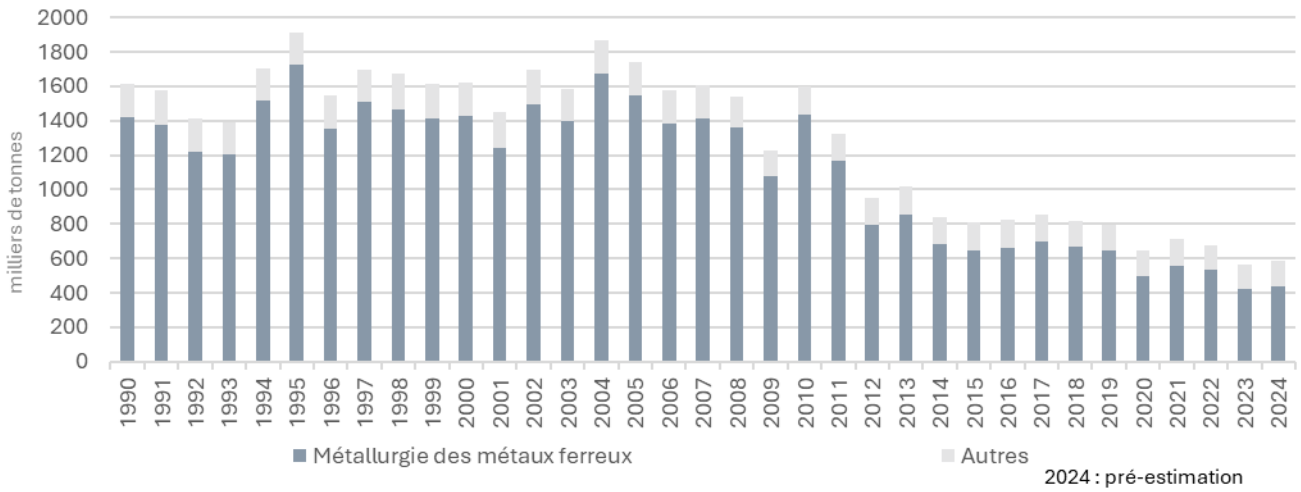
Une baisse importante (-8%) des émissions de COVNM est constatée entre 2011 et 2012, imputable essentiellement au secteur de l'imprimerie du fait de la réduction à la source des consommations de solvants, et de la construction.

CO | Monoxyde de carbone

Sur la période 1990-2023, une baisse des émissions de CO de 65% est observée pour le secteur de l'industrie manufacturière et construction, du fait principalement du sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux (le sous-secteur est responsable d'environ 75% des émissions totales de l'industrie manufacturière et construction en 2023, et contribuait à hauteur de 88% en 1990). Les émissions de CO ont fortement chuté en 2020, dû à la pandémie de Covid-19, à la suite d'une période relativement stable entre 2014 et 2019. Après une reprise modérée des émissions observée en 2021, les émissions de CO repartent à la baisse dès 2022, atteignant la plus faible valeur de la série en 2023 avec 560 kt, soit une baisse de 17% par rapport à 2022.

Toutefois, sur cette même période, de fortes fluctuations sont observées dans ce même sous-secteur à cause, d'une part, des fortes variations de production (fonte, acier, aggloméré) et, d'autre part de la dépendance du facteur d'émission à la valorisation des gaz sidérurgiques. En effet, la composition des gaz sidérurgiques peut varier au cours du temps, selon les productions sur site. Les émissions sont reparties à la hausse en 2016 et 2017 au sein de l'industrie, résultat d'une augmentation des émissions dans le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux pour les raisons évoquées plus haut.

Par ailleurs, en 2009, la baisse des émissions de CO est liée à la crise financière qui a fortement ralenti les activités sidérurgiques. La baisse observée en 2012 fait suite à la fermeture des hauts-fourneaux, de l'aciérie et de l'agglomération de minerais du site sidérurgique de Florange. Depuis 2012, les émissions sont relativement stables, avec une tendance générale à la baisse, malgré une augmentation des émissions en 2013 par rapport à 2012.



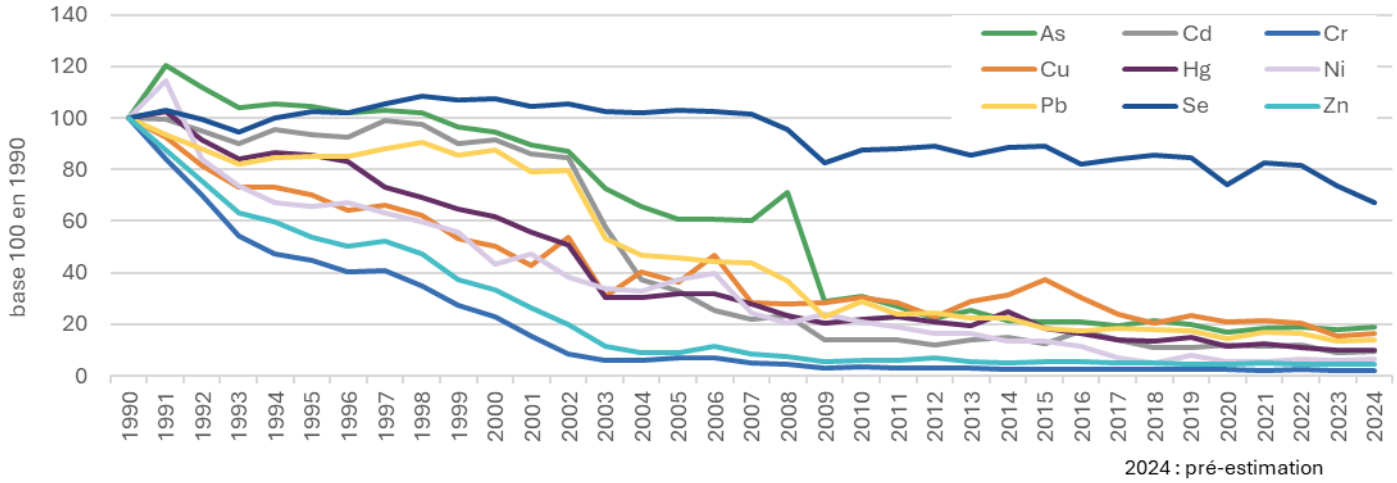
Répartition des émissions de CO du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Métaux lourds

Tendance générale

Les émissions de métaux lourds au sein de l'industrie manufacturière et de la construction ont diminué depuis 1990. Cette baisse est particulièrement marquée pour la plupart des métaux, avec des réductions allant de 82%

pour l'arsenic à 98% pour le chrome par rapport aux niveaux de 1990. Seul le sélénium présente une diminution plus modérée, avec une baisse de 26% sur la même période.



Evolution relative des émissions du secteur de l'industrie manufacturière et construction des métaux lourds en France (Métropole) (base 100 en 1990)

Le secteur de l'industrie manufacturière et construction contribue de manière hétérogène aux émissions nationales de métaux lourds :

- As : 45% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 32% du total national en 2023, contre 56% en 1990 ;
- Cd : 51% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 39% du total national en 2023, contre 50% en 1990 ;
- Cr : 47% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 24% du total national en 2023, contre 91% en 1990 ;
- Cu : 5% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 2% du total national en 2023, contre 12% en 1990 ;
- Hg : 47% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 49% du total national en 2023, contre 41% en 1990 ;
- Ni : 41% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 44% du total national en 2023, contre 53% en 1990 ;
- Pb : 31% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 28% du total national en 2023, alors qu'en 1990, il représentait 4% des émissions de plomb en France, malgré une forte baisse des émissions en valeur absolue dans le secteur (- 158 tonnes en 2023 par rapport à 1990, soit -87%). La forte évolution relative observée entre 1990 et aujourd'hui est liée à la suppression de l'essence plombée dans le secteur du transport routier ;
- Se : 70% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 74% du total national en 2023, contre 66% en 1990. Cette forte contribution (et en augmentation au cours de la période) au total national, s'explique par le fait que les émissions dans le secteur de l'industrie manufacturière et construction sont restées relativement stables en valeur absolue (entre 7 et 9 tonnes, avec une baisse de 26% en 2023 par rapport à 1990), alors que dans le même temps les émissions au niveau national ont diminué de 34% ;
- Zn : 39% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 18% du total national en 2023, contre 77% en 1990. Les émissions ont été fortement réduites sur la série temporelle, notamment grâce aux baisses dans les sous-secteurs de la métallurgie des métaux ferreux (- 98% sur la période, alors qu'il représentait 83% des émissions du secteur total en 1990) et non-ferreux (-96%). Tous les autres sous-secteurs de l'industrie, à l'exception de celui des minéraux non-métalliques, ont connu des hausses plus ou moins importantes, ne compensant cependant pas les baisses des deux principaux sous-secteurs.

► Pour une description détaillée des métaux lourds (sources d'émission, effets sur la santé, effets sur l'environnement, etc.), des réglementations en vigueur, ou des mesures mises en place pour réduire les émissions, consulter le chapitre dédié dans ce rapport.

As | Arsenic

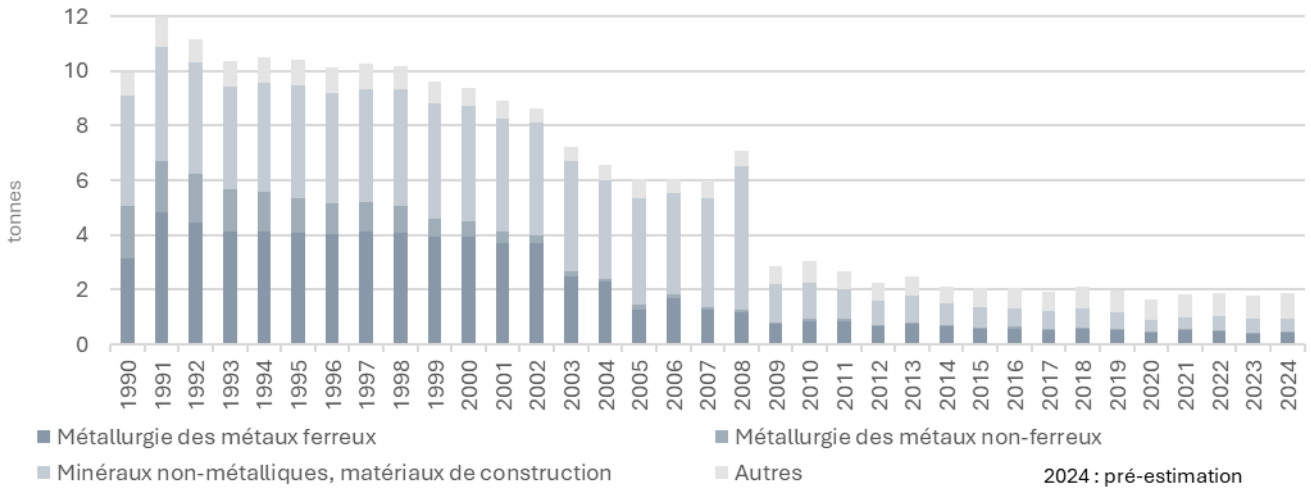
Depuis 1990, les émissions du secteur ont diminué de 82% et demeurent relativement stables depuis 2014.

La baisse des émissions est importante pour les minéraux non métalliques et les matériaux de

construction, la métallurgie des métaux ferreux et pour la métallurgie des métaux non-ferreux.

Ces réductions font notamment suite à la mise en place de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux sur les sites de production.

Le niveau élevé des émissions observé en 2008 dans le sous-secteur des minéraux non métalliques s'explique par un dysfonctionnement cette année-là des filtres à particules sur une installation de production de verre. La baisse observée dès 2009 est liée à la mise en service d'électrofiltres sur plusieurs installations de production de verre creux ainsi qu'à une utilisation plus limitée de l'arsenic (moins d'ajouts dans le procédé). Bien que la crise financière ait également joué un rôle dans cette baisse, avec un ralentissement de l'activité économique, la forte réduction d'émissions en 2009 s'est avérée plutôt structurelle. Depuis, une légère baisse des émissions est observée, mais le niveau reste relativement stable.



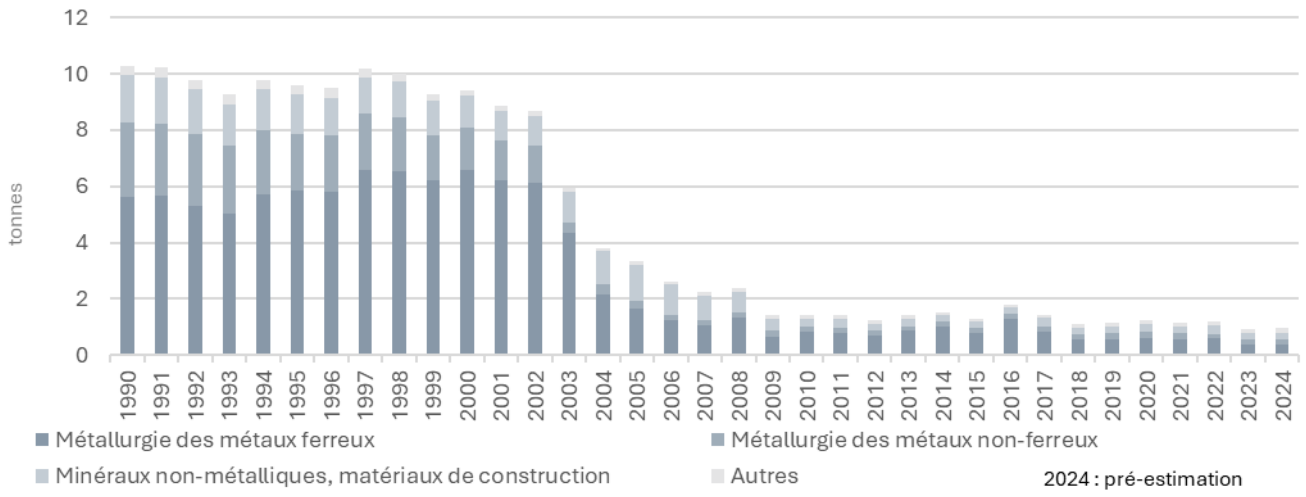
Répartition des émissions d'As du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Cd | Cadmium

En France, depuis 1990, les émissions de cadmium ont baissé de 91%, atteignant leur plus faible niveau en 2023. Cette baisse (avec une légère hausse en 2016 et 2017) est engendrée principalement par le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux, principal contributeur, suite à l'amélioration des équipements de réduction de particules (sidérurgie).

Entre 2008 et 2009, le secteur de l'industrie manufacturière et construction a connu une forte réduction de ses émissions (-41%) du fait, d'une part, d'une meilleure gestion du minerai de fer (contient moins de métaux lourds) pour fabriquer l'aggloméré dans le procédé sidérurgique et, d'autre part, de la mise en place de dépoussiéreurs en 2009 sur plusieurs fours du secteur verrier (verre creux).

Entre 2009 et 2022, le niveau des émissions est resté relativement stable (aux alentours de 1,5 t jusqu'à 2017 et 1,1-1,2 t entre 2018 et 2022). Auparavant, une forte baisse a été observée entre 2002 et 2004 (-56%), provenant des secteurs de la métallurgie des métaux ferreux et non-ferreux. Cette baisse s'explique par les progrès réalisés dans la sidérurgie et dans le traitement des fumées des usines d'incinération. Depuis les années 2000, la mise aux normes progressive des unités d'incinération et de valorisation énergétique des ordures ménagères a conduit à une réduction notable des rejets de cadmium de ces installations. Les émissions ont récemment diminué de 22% en 2023 par rapport à 2022. Cette baisse est principalement induite par la baisse de 38% des émissions de cadmium dans le sous-secteur des métaux ferreux sur la même période.

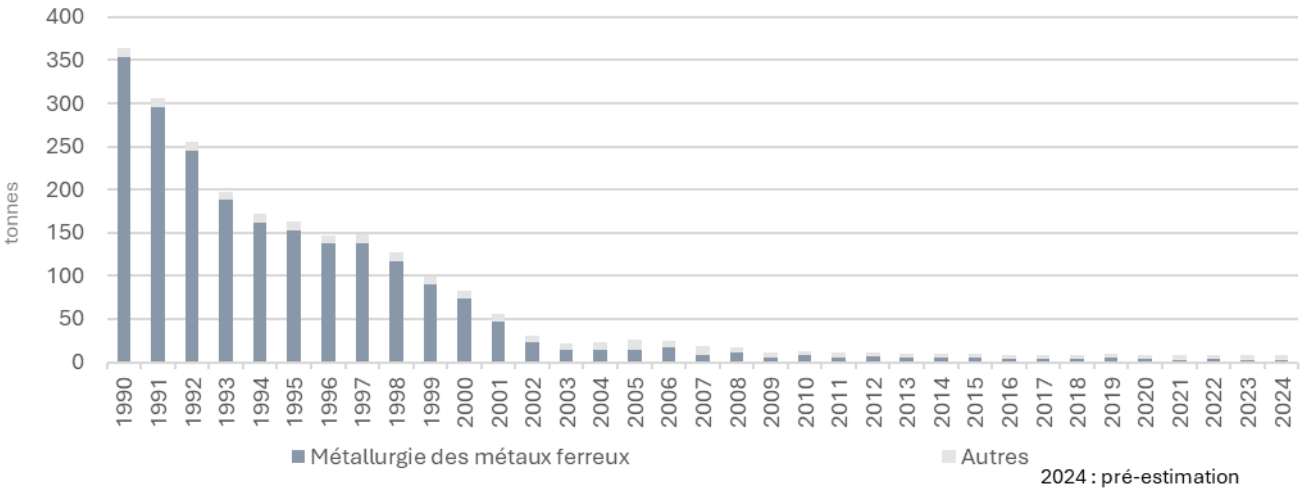


Répartition des émissions de Cd du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Cr | Chrome

Depuis 1990, les émissions de chrome ont très fortement diminué (-98%). Cette forte baisse est induite presque exclusivement par la métallurgie des métaux ferreux, en particulier par les aciéries électriques grâce à l'efficacité des techniques de réduction mises en place dans ce sous-secteur.

Entre 2006 et 2007, les émissions ont baissé de 27%, en particulier suite à la mise en place d'un dépoussiéreur sur la plus grosse aciérie électrique émettrice. La crise financière a également eu un fort impact entre 2008 et 2009, avec une baisse de 30% des émissions. Depuis 2011, le niveau des émissions est relativement stable, oscillant entre 7 et 10 tonnes, mais connaît une légère baisse globale, le niveau le plus bas ayant été atteint en 2023 (7,6 t).



Répartition des émissions de Cr du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Hg | Mercure

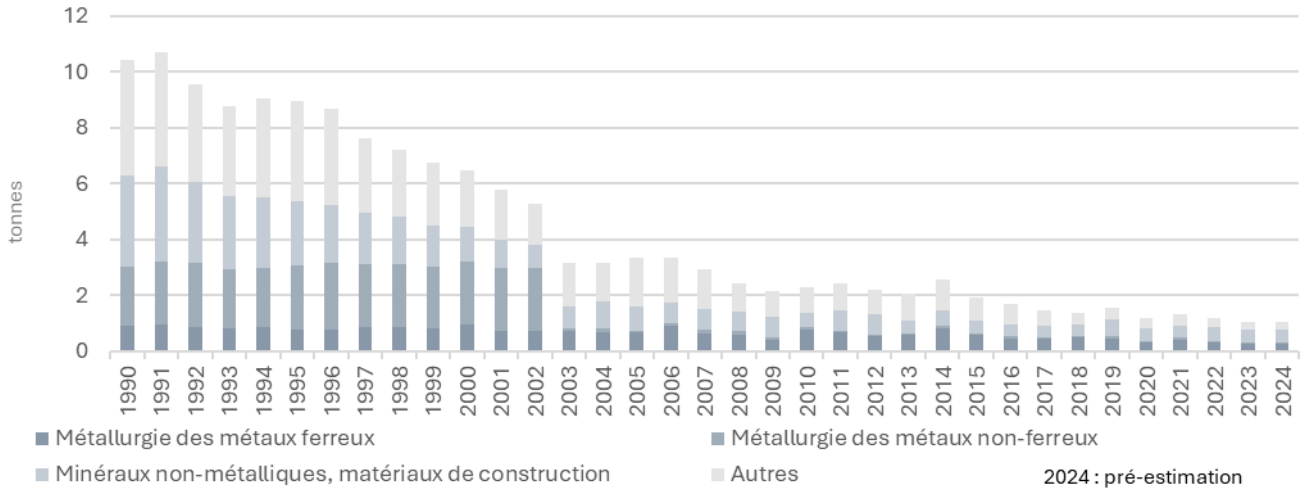
Entre 1990 et 2023, les émissions de mercure ont baissé de 90%. Le niveau atteint en 2023 constitue le plus faible niveau d'émission observé sur cette période avec 1 t.. Cette baisse s'explique par des réductions observées dans tous les sous-secteurs, dont :

- Des progrès ont été réalisés dans le contrôle des émissions pour la production de chlore (sous-secteur chimie),
- Dans le sous-secteur de la métallurgie des métaux non-ferreux, les émissions depuis 2003 sont proches de zéro suite à la fermeture d'un

important producteur de zinc et de plomb de première fusion,

- Dans le sous-secteur des minéraux non-métalliques et matériaux de construction, les émissions ont également fortement chuté entre 1990 et 2023 (-85%), notamment grâce à une forte baisse dans le secteur du ciment (-2,4 t soit -89%), cela pouvant en partie s'expliquer par une utilisation décroissante du charbon dans les cimenteries.

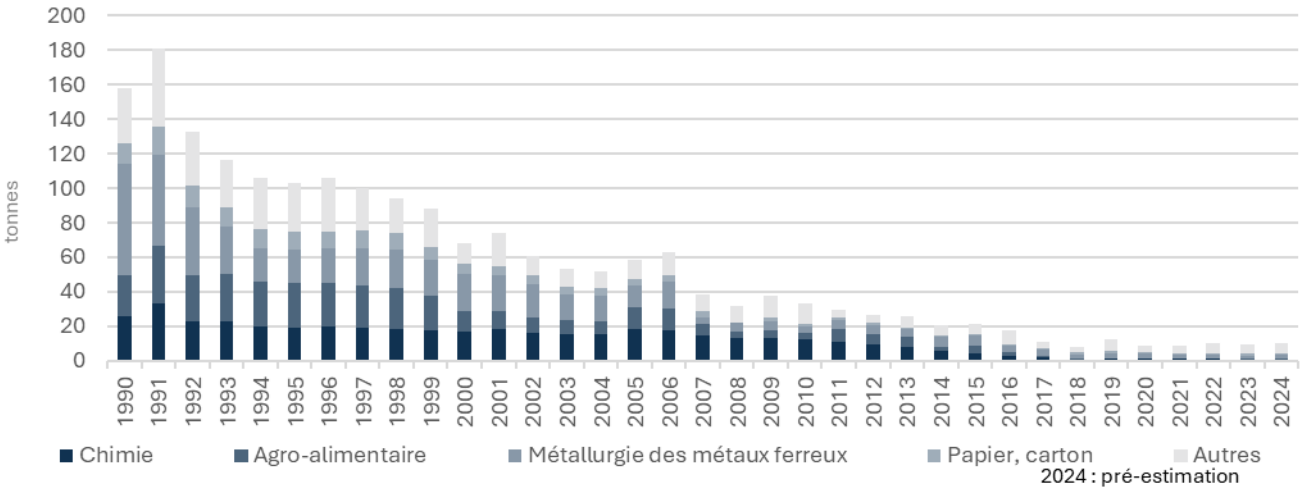
Des pics ponctuels observés en 2005 et 2014 sont liés aux variabilités dans le fonctionnement des aciéries électriques. Depuis 2015, le niveau des émissions de mercure se stabilise en-dessous de 2 tonnes par an, avec des fluctuations selon les années, et une poursuite d'une légère tendance à la baisse.



Répartition des émissions de Hg du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Ni | Nickel

Depuis 1990, les émissions de Ni ont fortement diminué (-94%). Le niveau le plus bas a été atteint en 2018, avec 8 tonnes émises en France pour le secteur de l'industrie manufacturière et construction. La baisse des émissions dans ce secteur s'explique, d'une part, par la mise en service de techniques de réduction des émissions plus efficaces et plus nombreuses dans le secteur des aciéries électriques et, d'autre part, par la baisse générale de la consommation de fioul lourd dans l'industrie manufacturière et construction.



Répartition des émissions de Ni du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

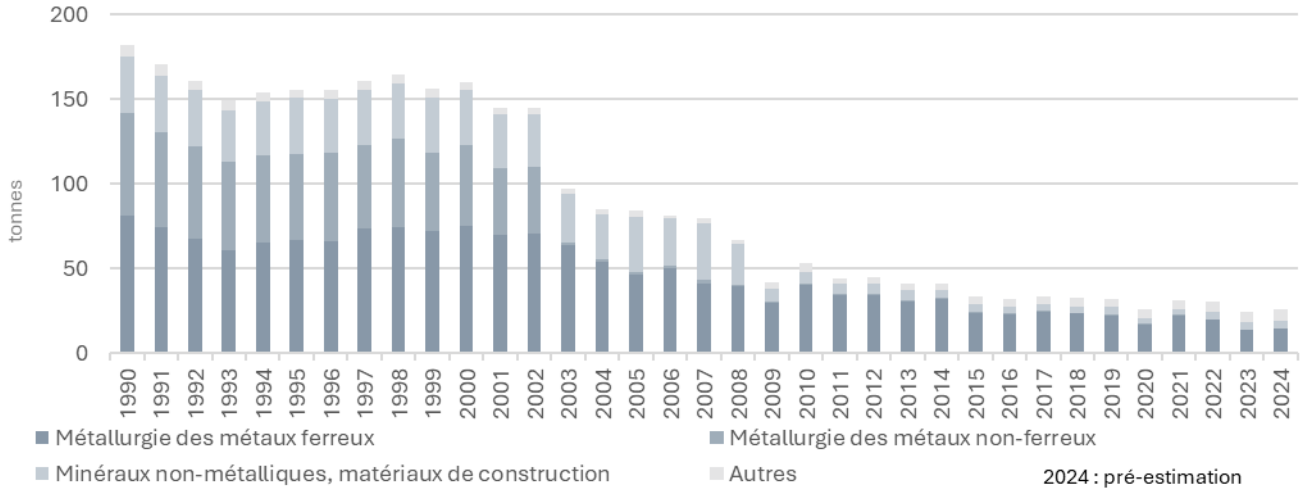
Pb | Plomb

Entre les années 1990 et 2023, la baisse des émissions de ce secteur (-87%) est principalement liée, d'une part, à la fermeture d'un important producteur de zinc et de plomb de première fusion en 2003 (-48 tonnes par rapport à 2002, soit -33%) et, d'autre part, à la mise en place de dépoussiéreurs sur de nombreuses installations industrielles.

De plus, ce secteur a connu une très forte baisse de ses émissions entre 2008 et 2009 (-25 t) suite à la mise en place en 2009 de nombreux équipements de réduction des particules sur des fours verriers (verre creux en particulier) mais aussi du fait de la baisse générale des activités (production) suite à la crise économique.

Dans le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux, une forte baisse des émissions de plomb entre 2014 et 2015 est observée (- 8 tonnes, soit -25%). La variabilité des résultats est importante car les rejets dépendent de la qualité des minerais approvisionnés. Les résultats sont également liés à la baisse des rejets canalisés de poussières des chaînes d'agglomération.

Depuis 2015, les niveaux d'émissions observés sont relativement stables autour de 30 tonnes, et constituent les niveaux les plus bas de la série, mise à part la baisse des émissions en 2020 liée majoritairement à la pandémie du Covid-19 (les émissions ont atteint leur valeur la plus faible en 2020 avec 25 tonnes). Une baisse notable est observée en 2023, avec -20% d'émissions par rapport à l'année précédente.

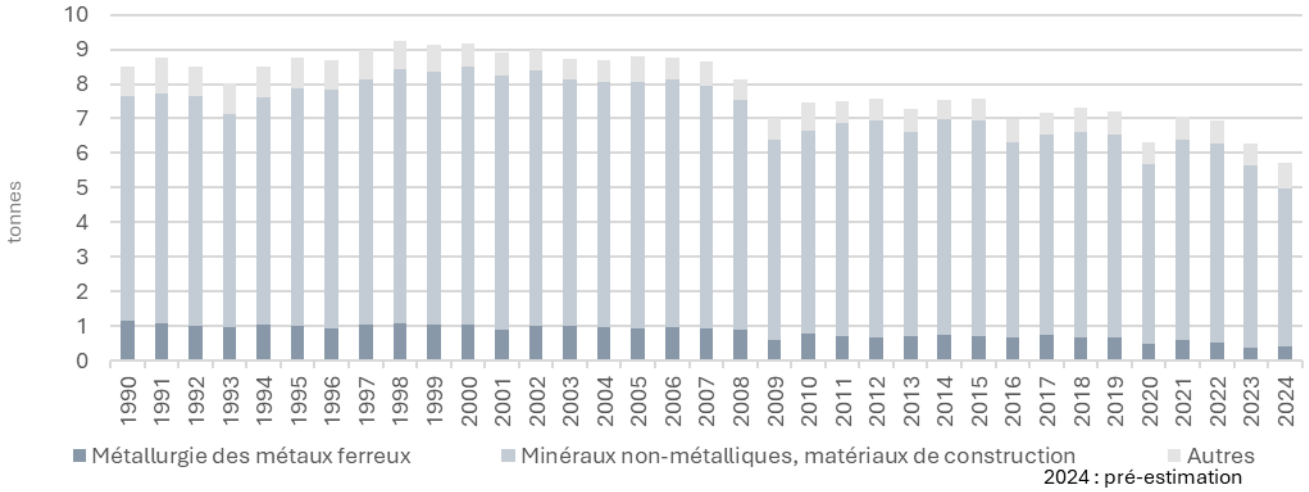


Répartition des émissions de Pb du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Se | Sélénium

Depuis 1990, les émissions de Se sont relativement stables dans ce secteur. Les émissions étaient comprises entre 8 et 9 tonnes de 1990 à 2008. Depuis 2009, les émissions sont sous la barre des 8 tonnes, avec une tendance générale à la baisse, malgré des fluctuations interannuelles à la hausse certaines années (2010, 2014 et 2015 notamment), et un minimum atteint une première fois en 2020 (6,3 tonnes, soit -26% par rapport à 1990) puis une seconde fois en 2023. La forte baisse (-14% en variation interannuelle) observée en 2009 est la conséquence de la crise économique qui a provoqué un ralentissement de l'activité industrielle.

Les émissions proviennent en partie de la combustion du fioul lourd et de la biomasse. Elles proviennent également de la production de verre, où le sélénium est ajouté au procédé de fabrication pour la coloration des verres. Les émissions peuvent donc varier au cours du temps selon les couleurs de verre voulues.



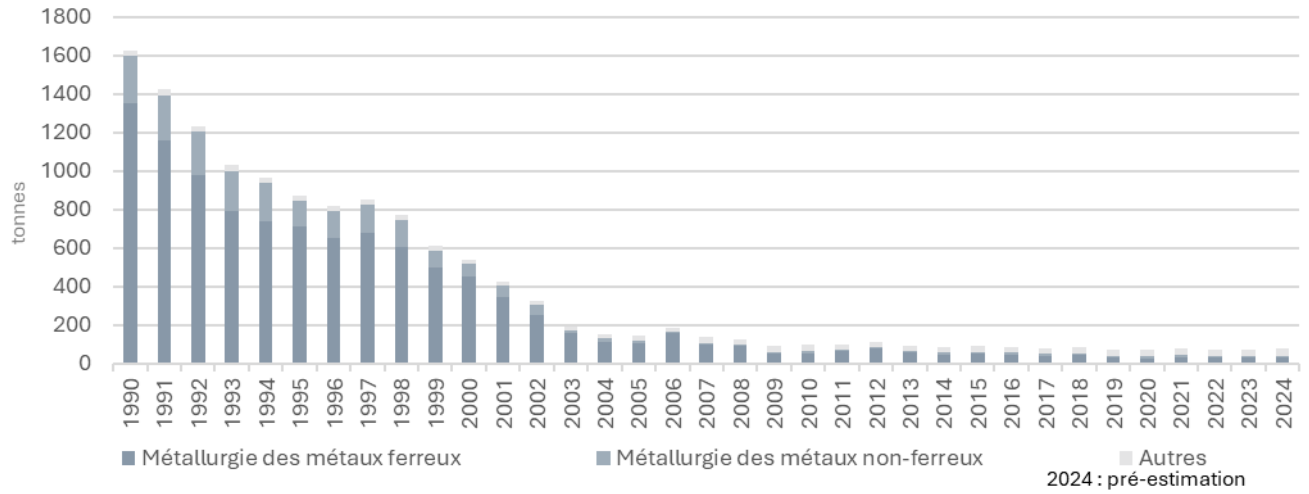
Répartition des émissions de Se du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Zn | Zinc

Les émissions de ce secteur ont baissé de 96% depuis 1990. Le niveau le plus faible est observé en 2022 (69,7 t).

Sur la période 1990-2023, c'est le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux qui enregistre la plus forte baisse en valeur absolue, avec une diminution de 98% des émissions, soit une réduction de 1 321 tonnes. Cette diminution s'explique principalement par l'amélioration de l'efficacité des techniques de réduction mises en place dans les aciéries électriques. Toutefois, la variabilité de procédé de ces aciéries est la cause principale des variations ponctuelles des émissions totales de zinc observées (par exemple en 2003 : -38% par rapport à 2002 ; ou en 2006 : +52% par rapport à 2005).

En parallèle, les émissions du sous-secteur de la métallurgie des métaux non ferreux ont également fortement diminué, avec 96% de réduction des émissions de zinc entre 1990 et 2023. Cette baisse s'explique principalement par la fermeture d'un important site de production de zinc et de plomb de première fusion en 2002. La hausse des émissions observée dans d'autres sous-secteurs, moins dominants dans le total du secteur, ne suffit pas à compenser le recul significatif enregistré dans ces deux filières.



Répartition des émissions de Zn du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

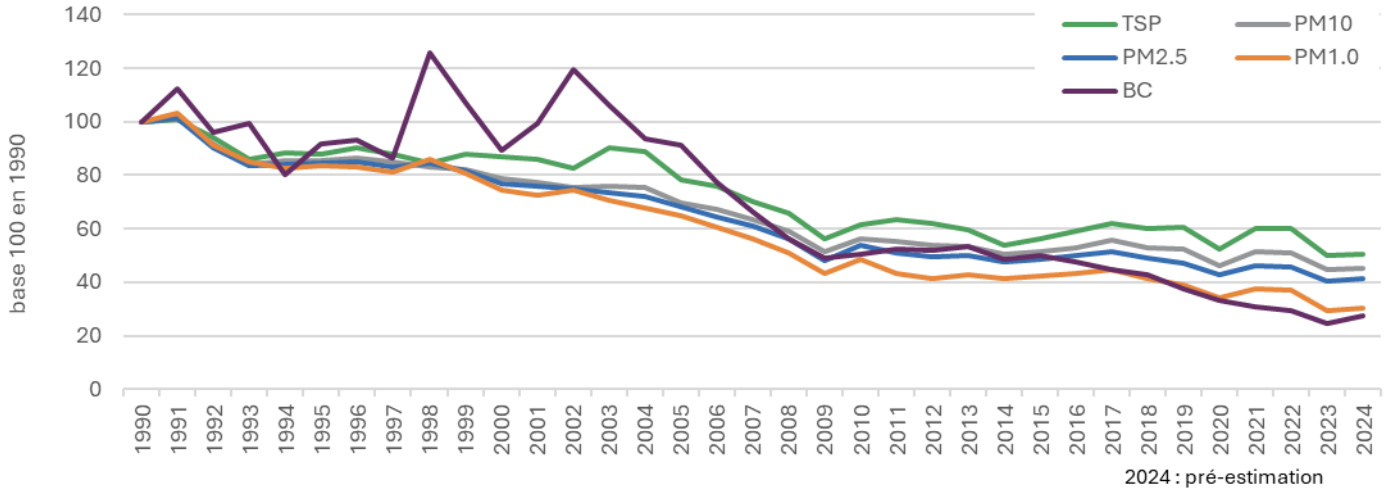
PM | Particules

Tendance générale

Les émissions des différentes substances composant les particules ont baissé depuis 1990, avec des diminutions allant de 50% en 2023 par rapport à 1990 pour les TSP, à 75% pour le carbone suie (BC). Les émissions de BC lors des années 1991, 1998, 1999, 2002 et 2003 ont toutefois été supérieures aux émissions relevées en 1990.

Ci-dessous, la contribution du secteur de l'industrie manufacturière et construction aux émissions nationales pour chacune des substances :

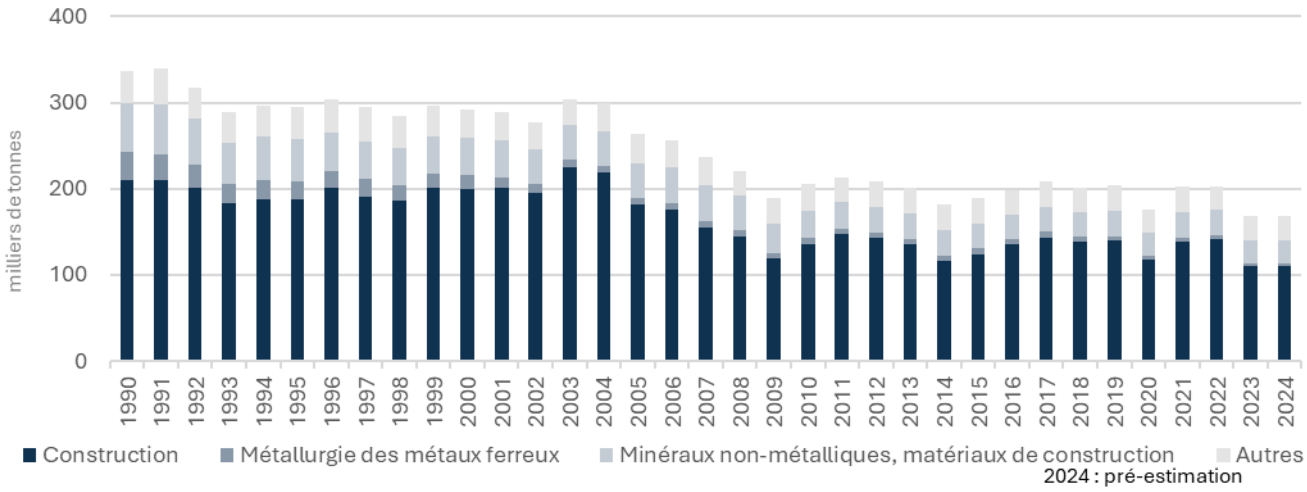
- TSP : la contribution du secteur aux émissions nationales de TSP est stable au cours de la période 1990-2023, oscillant entre 21% et 28% (24% en moyenne, et 22% en 2023) ;
- PM_{10} : 19% du total national en moyenne sur la période 1990-2029, et 22% du total national en 2023, contre 20% en 1990 ;
- $PM_{2.5}$: 12% du total national en moyenne sur la période 1990-2032, et 15% du total national en 2023, contre 12% en 1990 ;
- $PM_{1.0}$: 7% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 8% du total national en 2023 et en 1990 ;
- Carbone suie : 5% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 5% du total national en 2023, contre 6% en 1990



Evolution relative des émissions du secteur de l'industrie manufacturière et construction des PM en France (Métropole) (base 100 en 1990)

TSP | Total des particules en suspension

Tous les sous-secteurs contribuent aux émissions de TSP mais le principal contributeur est le sous-secteur de la construction, du fait de la manutention des matériaux (66% des émissions du secteur en 2023). Entre 1990 et 2023, la baisse observée de 50% est liée, d'une part, à l'évolution des activités, en particulier celles des chantiers du BTP (Bâtiments et Travaux Publics) et, d'autre part, à la mise en service de techniques de réduction (filtres à particules, dépoussiéreurs) sur plusieurs sites industriels. En 2009, à la suite de la crise économique, les émissions ont diminué de 15% par rapport à 2008, avant d'observer un effet rebond, causant une augmentation des émissions de 13% entre 2009 et 2011. Les émissions ne sont toutefois jamais revenues aux niveaux observés jusqu'en 2008. L'année 2023 constitue l'année avec le niveau d'émission le plus bas observé au cours des trois dernières décennies (169 kt). Les émissions ont chuté de 17% entre 2022 et 2023, notamment dû à la forte diminution de l'activité de construction de bâtiments.

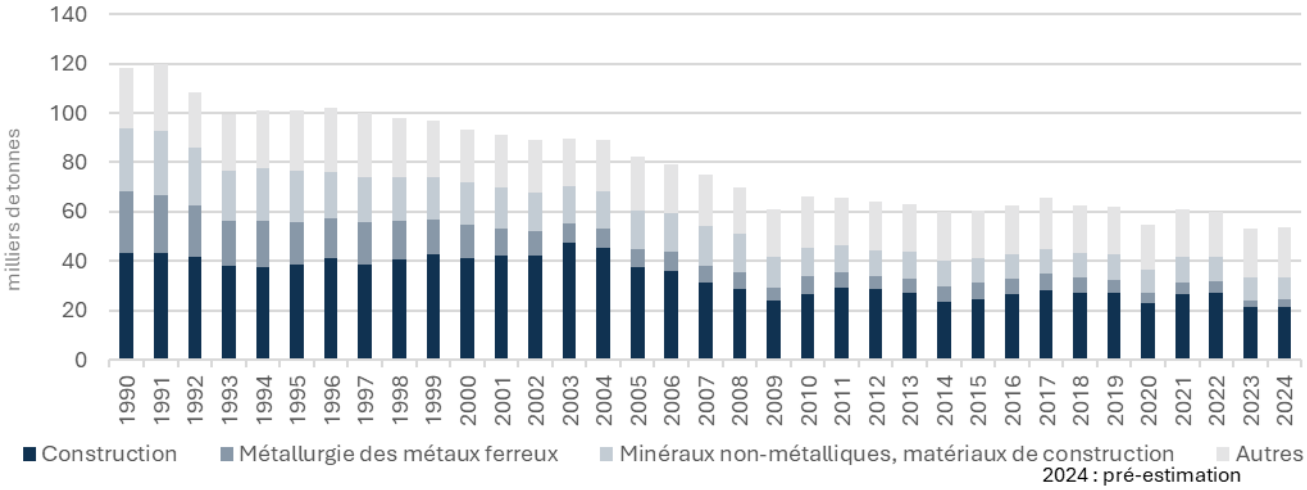


Répartition des émissions des TSP du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

PM_{10} | Particules grossières et fines

Comme pour les TSP, le principal contributeur est le sous-secteur de la construction (40% du secteur en 2023). Les émissions ont diminué de 51% pour ce sous-secteur entre 1990 et 2023.

Entre 1990 et 2023, la baisse des émissions (-55%) dans le secteur d'industrie manufacturière et construction est imputable, d'une part, à la métallurgie des métaux ferreux suite aux progrès réalisés par les sidérurgistes particulièrement dans les aciéries électriques (optimisation des procédés de combustion), d'autre part, aux variations de l'activité des chantiers du BTP (ralentissement à partir de 2009, suite à la crise économique de 2008) et enfin à la mise en place de techniques de dépoussiérage dans de nombreuses installations industrielles.



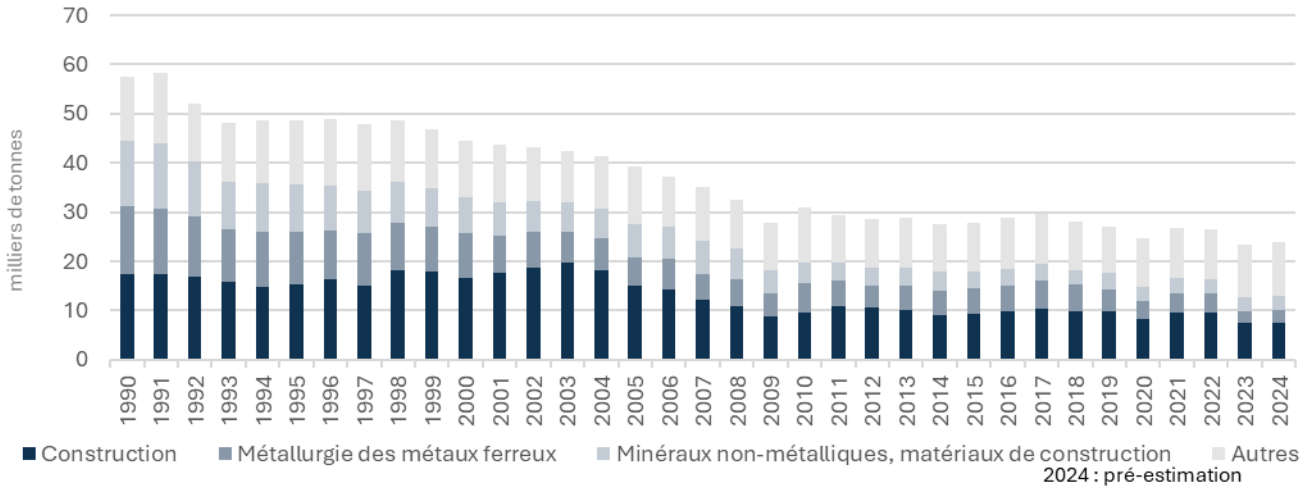
Répartition des émissions des PM_{10} du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

$PM_{2.5}$ | Particules fines

En 2023, le premier sous-secteur émetteur de $PM_{2,5}$ est également celui de la construction, provenant notamment du travail et de la manipulation des matières premières. Le secteur de la chimie est également un contributeur important aux émissions de l'industrie (30% du total en 2023) et voit ses émissions croître sur la série temporelle (+5% entre 1990 et 2023). Le secteur de la métallurgie des métaux ferreux (3e contributeur) et celui des minéraux non-métalliques et matériaux de construction (4e) sont les autres principaux contributeurs.

Entre 1990 et 2023, les émissions sectorielles ont baissé de 60%. Cette baisse est essentiellement marquée dans le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux à la suite des progrès réalisés par les sidérurgistes (optimisation des procédés de combustion), particulièrement dans les aciéries électriques ainsi que dans le sous-secteur des minéraux non métalliques et matériaux de construction suite à la mise en place de

techniques de réduction (filtres à particules, dépoussiéreurs) sur plusieurs sites industriels. La réduction est également liée à la baisse de l'activité dans le secteur de la construction (-57% d'émissions entre 1990 et 2023).

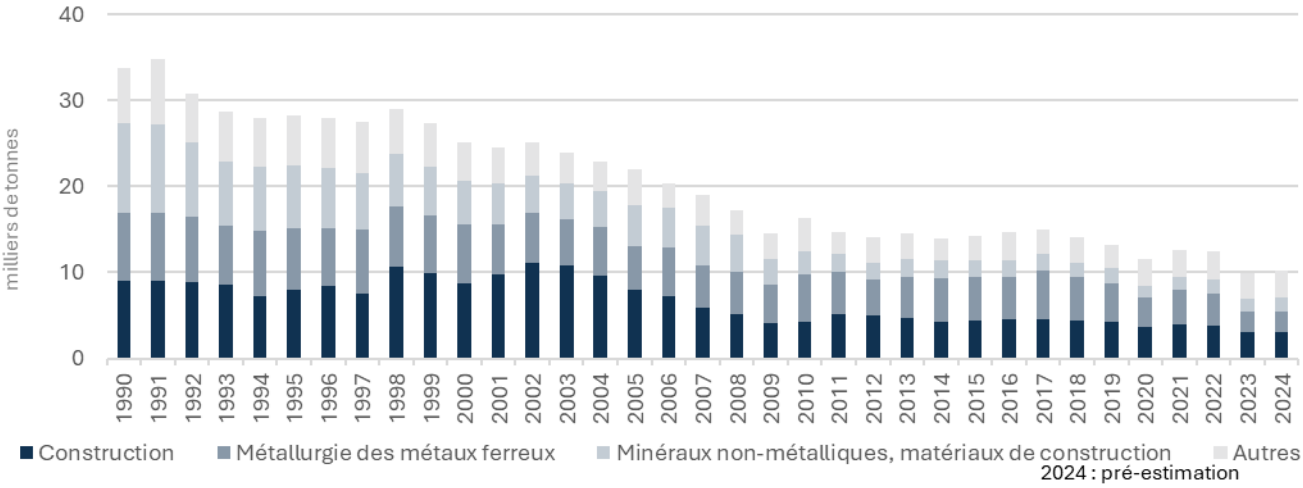


Répartition des émissions des $PM_{2,5}$ du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

$PM_{1.0}$ | Particules très fines

Les deux principaux sous-secteurs émetteurs sont la métallurgie des métaux ferreux et la construction. Dans ces deux sous-secteurs les émissions ont diminué respectivement de 70% et de 66% depuis 1990.

Dans l'ensemble du secteur de l'industrie manufacturière et construction, les émissions ont diminué de 71% par rapport à 1990, d'une part, dû aux progrès réalisés sur les sites sidérurgiques (optimisation des procédés de combustion) et plus particulièrement dans les aciéries électriques et, d'autre part, à l'efficacité des techniques de réduction (filtres à manches, filtres à particules) mises en œuvre dans les cimenteries.

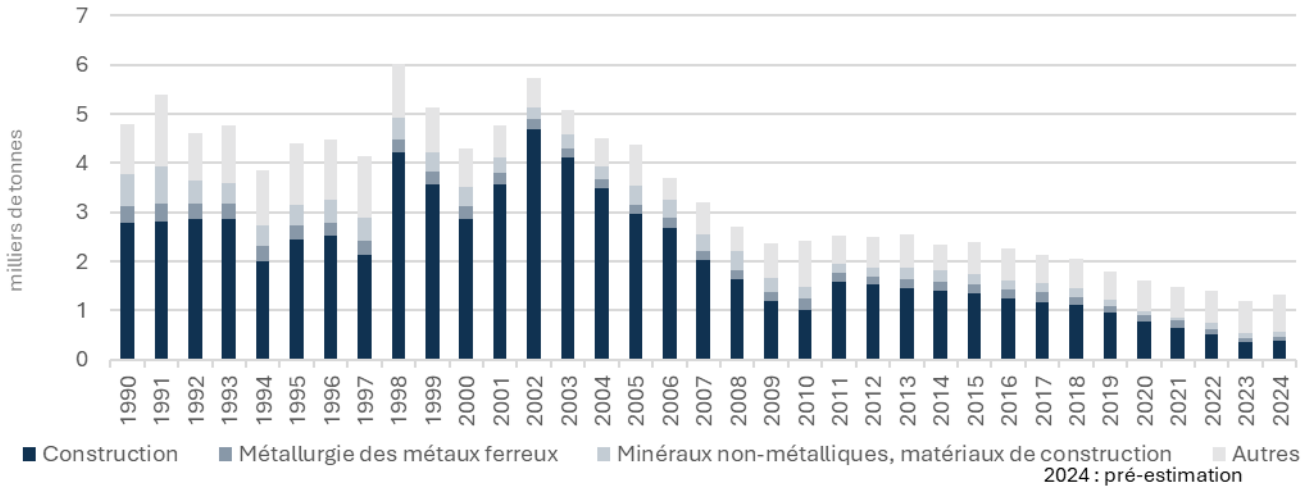


Répartition des émissions des $PM_{1,0}$ du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

BC | Carbone suie

Les émissions de carbone suie sont issues de la combustion et plus particulièrement de la combustion dans les sources mobiles (Engins Mobiles Non Routiers : EMNR). Le sous-secteur de la construction est le principal contributeur depuis 1990. Les émissions proviennent également du sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux et des autres industries (production de produits de bois). Les variations observées peuvent être expliquées par une variabilité des volumes d'activité au sein du sous-secteur de la construction, ainsi que par des changements d'utilisation des combustibles (utilisation plus ou moins

intensive de biomasse ou de gazole). Les émissions du secteur ont diminué de 75% depuis 1990.



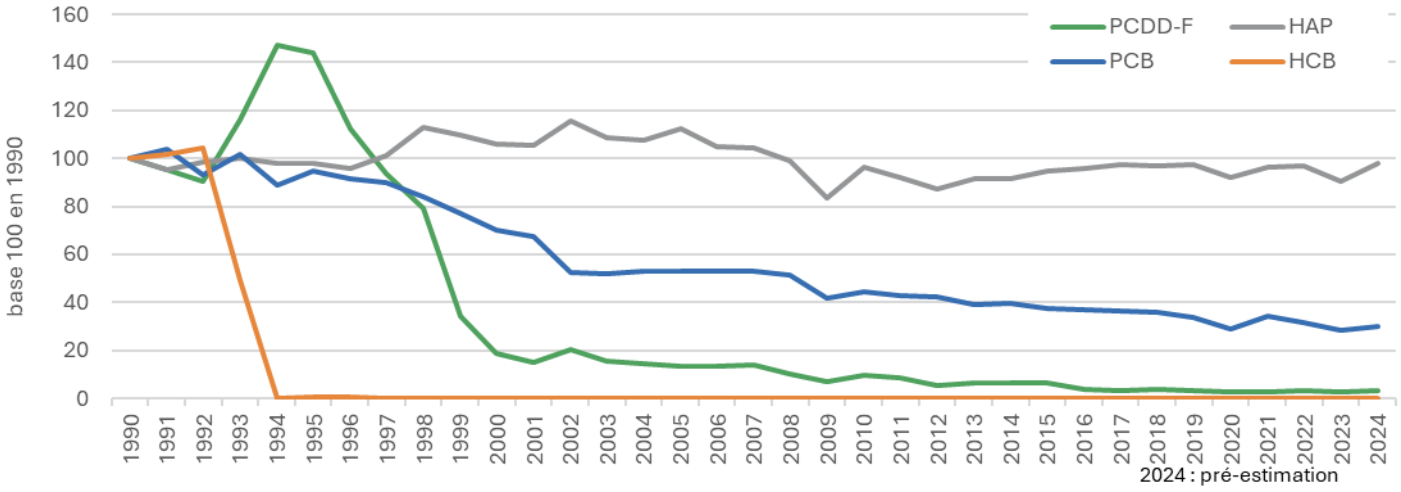
Répartition des émissions du BC du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

POP | Polluants organiques persistants

Tendance générale

Les émissions des différentes substances composant les polluants organiques persistants ont baissé depuis 1990. Les émissions de HAP ont diminué de 10% sur la période 1990-2023 oscillant entre 0,8 et 1,1 t. Les émissions de PCB ont diminué de 72% en 2023 par rapport à 1990. La baisse a pratiquement été continue sur cette période, les augmentations observées étant faibles et occasionnelles. Les émissions de PCDD-F et de HCB ont été pratiquement éliminées du secteur de l'industrie avec des réductions respectives en 2023 de 97% et 99,9%, par rapport aux niveaux observés en 1990. Ci-dessous, la contribution du secteur de l'industrie manufacturière et construction aux émissions nationales pour chacune des substances :

- PCDD-F : 18% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 9% du total national en 2022, contre 21% en 1990 ;
- HAP : depuis 1990, le secteur de l'industrie manufacturière et de la construction représente entre 2 et 3% des émissions nationales de HAP. Les émissions ont baissé de 10% depuis 1990 ;
- PCB : 47% du total national en moyenne sur la période 1990-2023, et 57% du total national en 2023, contre 34% en 1990 ;
- HCB : 9% du total national en moyenne sur 1990-2023, et 8% du total national en 2023, contre 69% en 1990.

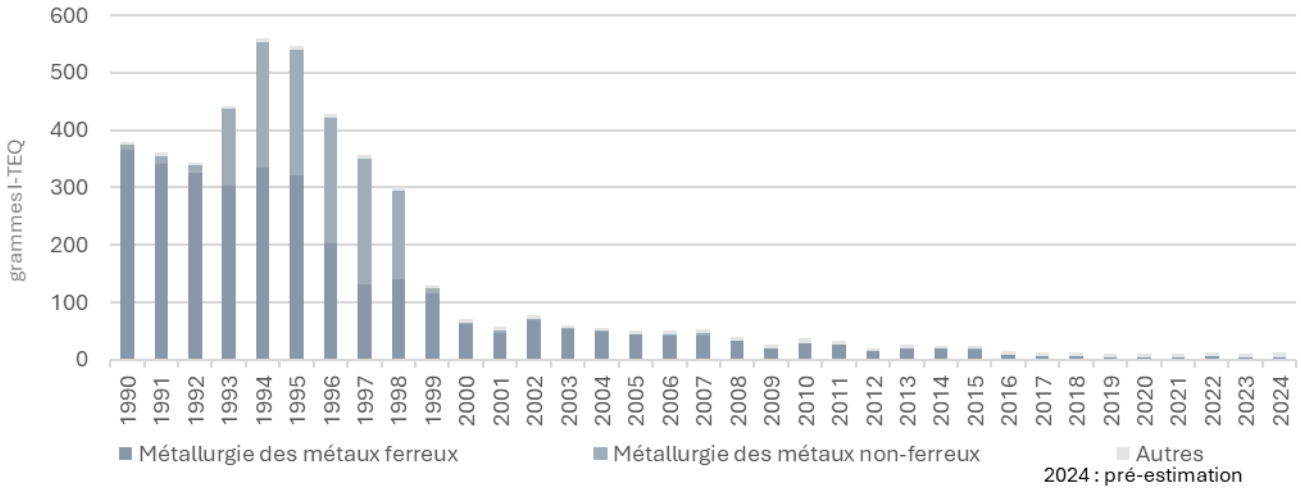


PCDD-F | Dioxines et furanes

En 2023, le sous-secteur des métaux ferreux est le principal contributeur du secteur de l'industrie manufacturière (à hauteur de 37%) du fait des chaînes d'agglomération de minerai. Toutefois, la forte baisse observée dans ce sous-secteur sur la période 1990-2023 (-99%) est liée aux progrès réalisés sur les sites sidérurgiques. Entre 2015 et 2016, on observe une baisse des émissions de près de 59% dans ce sous-secteur, notamment en provenance des chaines d'agglomération en raison des progrès réalisés sur le process, l'efficacité du traitement et la qualité des mesures.

Entre 1993 et 1998, les émissions du sous-secteur de la métallurgie des métaux non-ferreux ont connu une très forte augmentation suite à l'ouverture en 1993 d'un site produisant du zinc à partir de déchets spéciaux, qui était très fortement émetteur de dioxines. A compter de 1998, ce site a mis en place des équipements de traitement des effluents gazeux d'où une baisse des émissions.

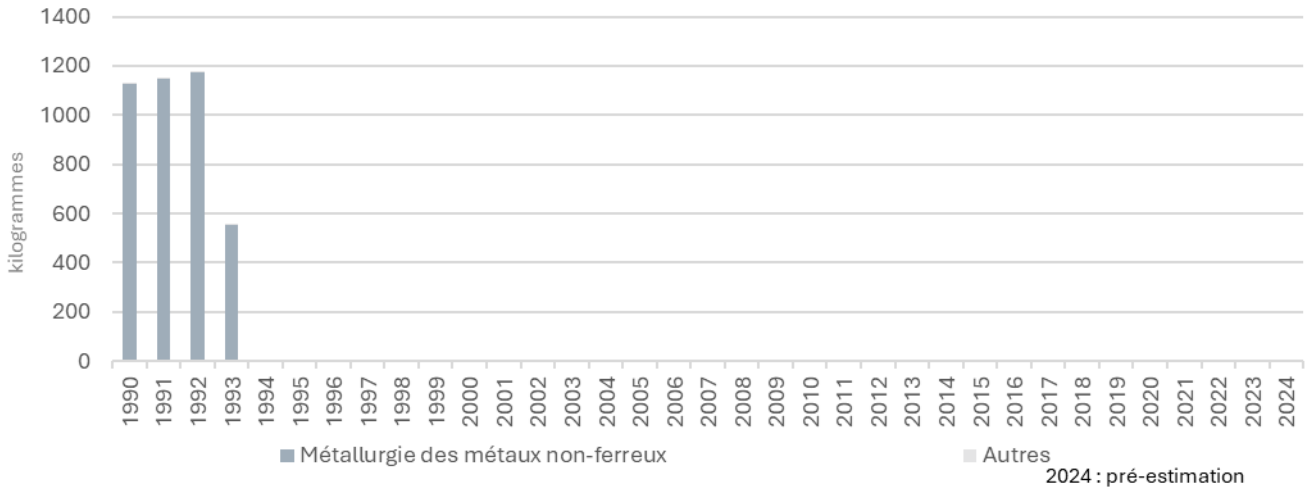
Entre 2012 et 2015, les émissions oscillent entre 20 et 25 g ITEQ (International Toxic Equivalent Quantity). Depuis 2016, les émissions ont de nouveau chuté, pour atteindre un niveau historiquement bas en 2020 et en 2021, avec moins de 11 g ITEQ émis au sein du secteur. En 2022, les émissions ont augmenté légèrement pour atteindre 13 g ITEQ, soit une augmentation de 19% par rapport à l'année précédente, principalement liée au sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux. En 2023, les émissions sont de nouveau reparties à la baisse, pour atteindre un niveau similaire à celui atteint en 2020-2021.



Répartition des émissions des PCDD-F du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

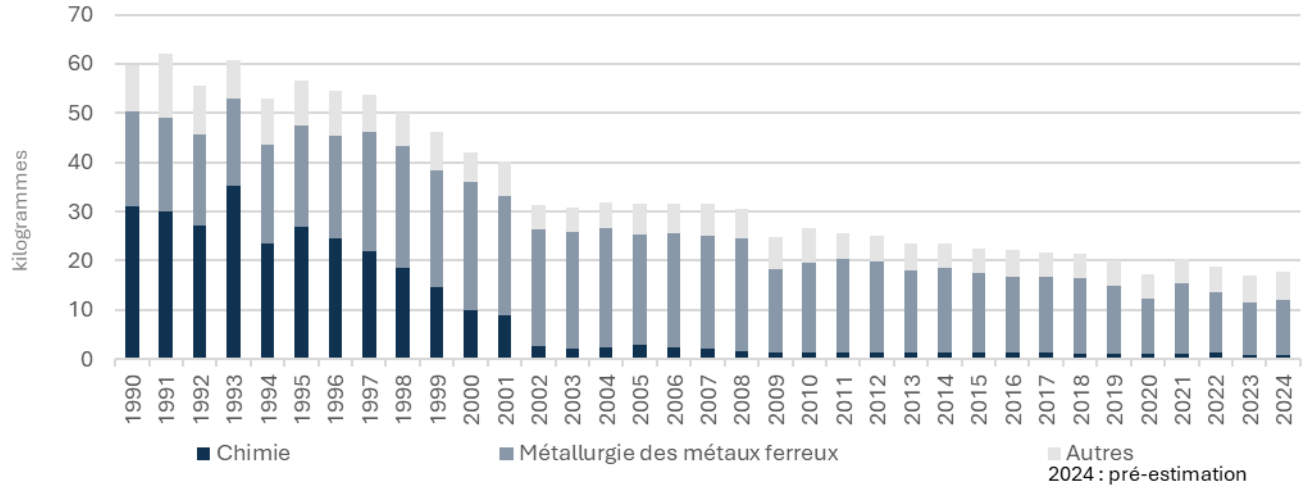
HCB | Hexachlorobenzène

De 1990 à 1993, les émissions de HCB étaient quasiment entièrement dues au secteur de la métallurgie des métaux non-ferreux, et plus particulièrement la production d'aluminium de seconde fusion. En effet, jusqu'en 1993, de l'hexachloroéthane était utilisé comme apport de chlore et engendrait des émissions de HCB. Cette substance a été interdite à partir de 1993 et explique la réduction drastique des émissions dans ce sous-secteur. Entre 1994 et 1998, le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux (chaîne de fabrication de l'acier) contribue entre 11 et 14% des émissions du secteur alors que le sous-secteur de la métallurgie des métaux non-ferreux contribue à 82% en moyenne sur cette même période. A partir de 2000, le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux est la source d'émission principale avec une contribution entre 45% et 66% des émissions du secteur, jusqu'en 2020, où elle diminue jusqu'à atteindre 35% en 2023. Les émissions de HCB du sous-secteur des métaux non-ferreux sont assez marginales (environ 4 à 6%) depuis l'an 2000. Ces émissions sont difficilement visibles sur le graphique ci-dessous car le niveau total des émissions de HCB en 2023 pour le secteur dans son ensemble est de 0,6 kg.



Répartition des émissions des HCB du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

PCB | Polychlorobiphényles



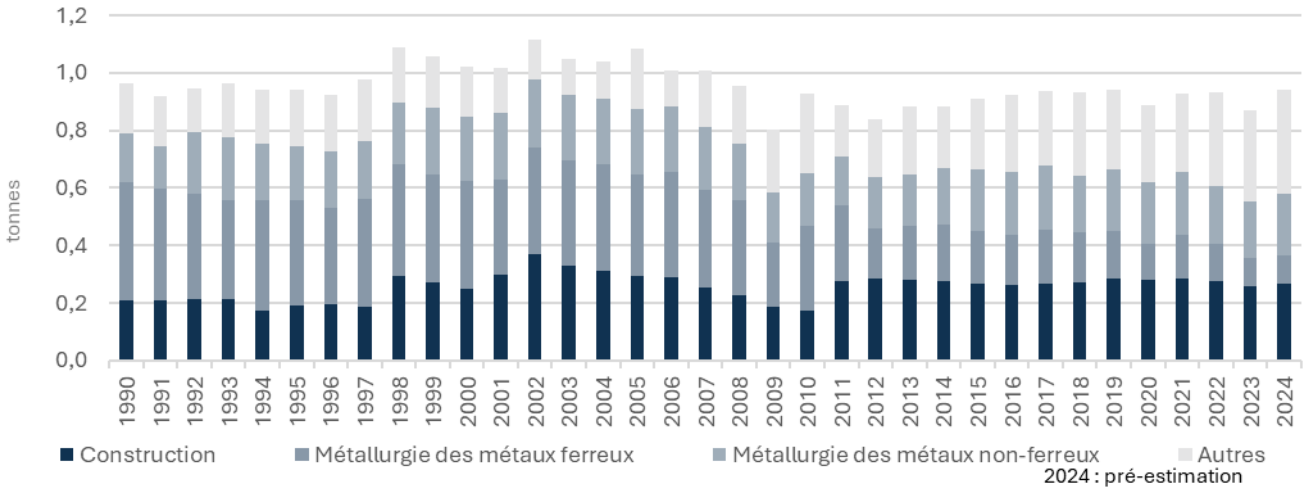
Répartition des émissions des PCB du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

Le sous-secteur de la métallurgie des métaux ferreux contribue majoritairement aux émissions de PCB du secteur de l'industrie manufacturière et construction (63% en 2023). Sur la période 1990-2023, les émissions de ce sous-secteur ont tout de même baissé de 44%. Sur l'ensemble du secteur, les émissions ont baissé de 72% par rapport à 1990, soit une réduction de 42 kg. La baisse observée des émissions du secteur est surtout imputable aux installations chimiques, qui étaient les principales contributrices (31 kg, 52% du total sectoriel en 1990), et qui aujourd'hui (2023) émettent moins de 1 kg, soit à peine 5% du total pour l'industrie manufacturière. Entre 1995 et 2002, les émissions du secteur de la chimie ont diminué de 90%. Dans le sous-secteur de la chimie sont rapportées les émissions de l'incinération in-situ des déchets industriels dangereux. La baisse observée est liée notamment à la mise en place de techniques d'abattement pour les PCDD-F, qui a également eu un effet sur les PCB.

HAP | Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les émissions de HAP provenant du secteur de l'industrie manufacturière et construction sont marginales (environ une tonne par an), et ne représentent pas plus de 3% des émissions du total national depuis 2008.

Les émissions dans le secteur de l'industrie proviennent de la combustion de biomasse, de minéraux solides et de carburants. Le principal contributeur au sein du secteur industriel est celui de la construction.



Répartition des émissions des HAP du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)

En savoir plus

- Détail des sources d'émissions incluses dans ce secteur en Annexe de ce rapport
- Détail de la méthode d'estimation dans le rapport méthodologique Ominea
- Politiques de réduction des émissions : voir les chapitres *Politique Climat* et *Politique air*.

Usage des bâtiments et activités résidentielles et tertiaires

Rédaction : **Benjamin CUNIASSE**

En bref

Le secteur Usage des bâtiments et activités résidentielles, tertiaires, commerciales et institutionnelles ne doit pas être exactement assimilé à ce qui peut être appelé, dans d'autres communications, « le secteur du bâtiment ».

Le **résidentiel** inclut l'usage des bâtiments résidentiels mais aussi certaines activités domestiques. Il est décomposé en sept sous-secteurs : Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson ; Equipements de climatisation et pompes à chaleur résidentielles ; Equipements de froid domestique ; Utilisation de produits domestiques (peintures, colles, aérosols, produits pharmaceutiques etc.) ; Engins (loisirs et jardinage) ; Déchets et brûlage domestiques & eaux usées ; Autres activités : tabac et feux d'artifices.

Le **tertiaire** est décomposé en cinq sous-secteurs : Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson dans le tertiaire ; Equipements de climatisation pour le tertiaire ; Installation de réfrigération (supermarchés, hypermarchés, petits commerces, entrepôts, patinoires) ; Utilisation de certains produits (solvants, peintures, aérosols, extincteurs, produits utilisés en anesthésie, pour la réparation de véhicules) ; Autres activités tertiaires : feux d'artifice, activités militaires, crémation.

Les émissions de ce secteur, pour les GES comme pour la plupart des polluants, sont dominées par les appareils de combustion. La climatisation, la réfrigération commerciale et l'utilisation de solvants ont aussi des impacts importants sur les émissions de certains polluants.

Afin de pouvoir réduire à la fois les émissions de GES mais aussi celles des polluants du résidentiel-tertiaire, les principaux enjeux sont ceux de la rénovation énergétique des bâtiments et du choix du type de combustible ou du vecteur énergétique utilisé.

Description du secteur

Panorama et enjeux

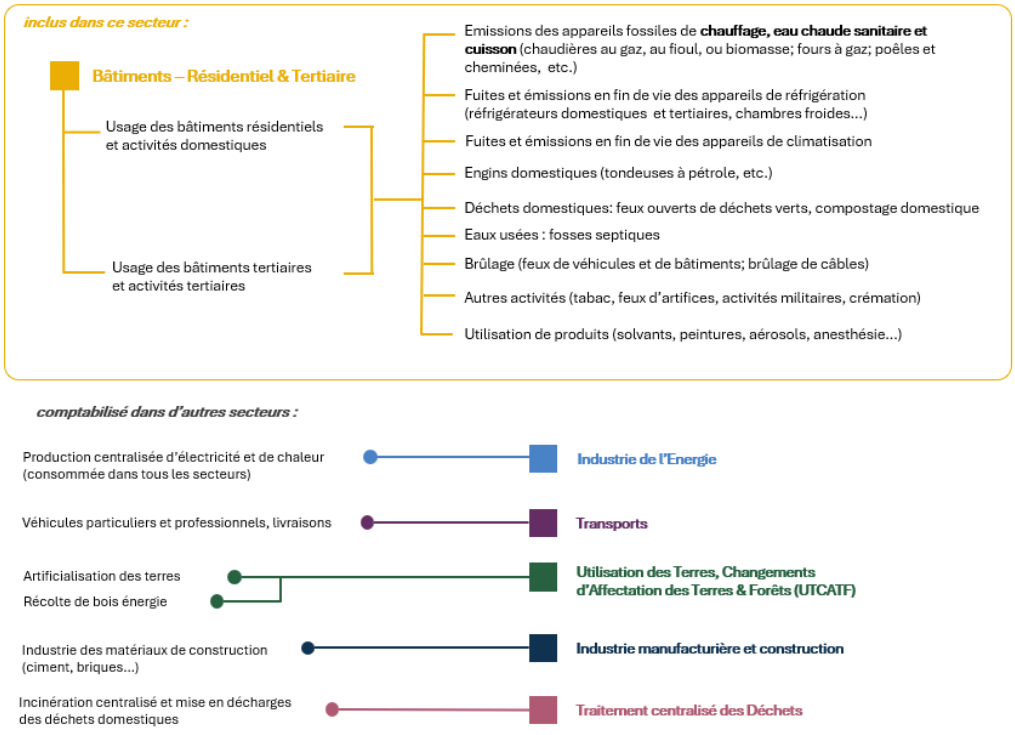
Les émissions du secteur résidentiel/tertiaire en France métropolitaine ont diminué sur la période 1990-2023, aussi bien pour les polluants atmosphériques que pour les gaz à effet de serre. Les émissions liées à la combustion sont en baisse pour la plupart des polluants atmosphériques. Cette tendance trouve son origine essentiellement dans l'amélioration des performances techniques des appareils domestiques brûlant du bois mais provient également de l'évolution des types de combustibles utilisés (notamment l'usage grandissant de granulés).

A noter, ce secteur est très dépendant des conditions climatiques : les consommations d'énergie, et, par conséquent, les émissions de CO_2 et de polluants suivent généralement les fluctuations de l'indice de rigueur climatique. D'autres éléments tels que les caractéristiques des combustibles mais aussi l'amélioration continue des technologies de combustion, l'isolation des bâtiments, etc. influent aussi sur les émissions.

L'enjeu principal du secteur résidentiel-tertiaire est la réduction de l'impact des sources de combustion sur les émissions de GES et la pollution atmosphérique. Les politiques climat et qualité de l'air doivent être coordonnées car il existe des risques d'antagonismes, le plus connu étant celui de la combustion de biomasse. Privilégier la biomasse solide par rapport aux combustibles fossiles a des impacts positifs sur les émissions de GES mais négatifs sur les émissions de particules et de carbone suie qui peuvent conduire à un risque de non-respect des valeurs limites en termes de qualité de l'air et également avoir un impact climat (carbone suie) de surcroit. Par ailleurs, l'utilisation de biomasse énergie n'est pas neutre du point de vue climatique (en effet, la combustion du bois génère des émissions de GES comptabilisées dans le secteur UTCATF. *Voir le chapitre UTCATF*).

Aussi, l'atteinte des budgets carbone de la SNBC (Stratégie nationale bas carbone) et des réductions des émissions de polluants requis par le PREPA (Plan national de REduction des émissions de Polluants Atmosphérique), le respect des normes de qualité de l'air notamment pour les particules, dépendront des progrès accomplis dans ce secteur. Ces progrès passent notamment par la rénovation énergétique, les choix adaptés des sources d'énergie et les progrès techniques mais aussi les comportements sociétaux (bien utiliser ses équipements bois, correctement les entretenir, ...)

Emissions incluses dans ce secteur

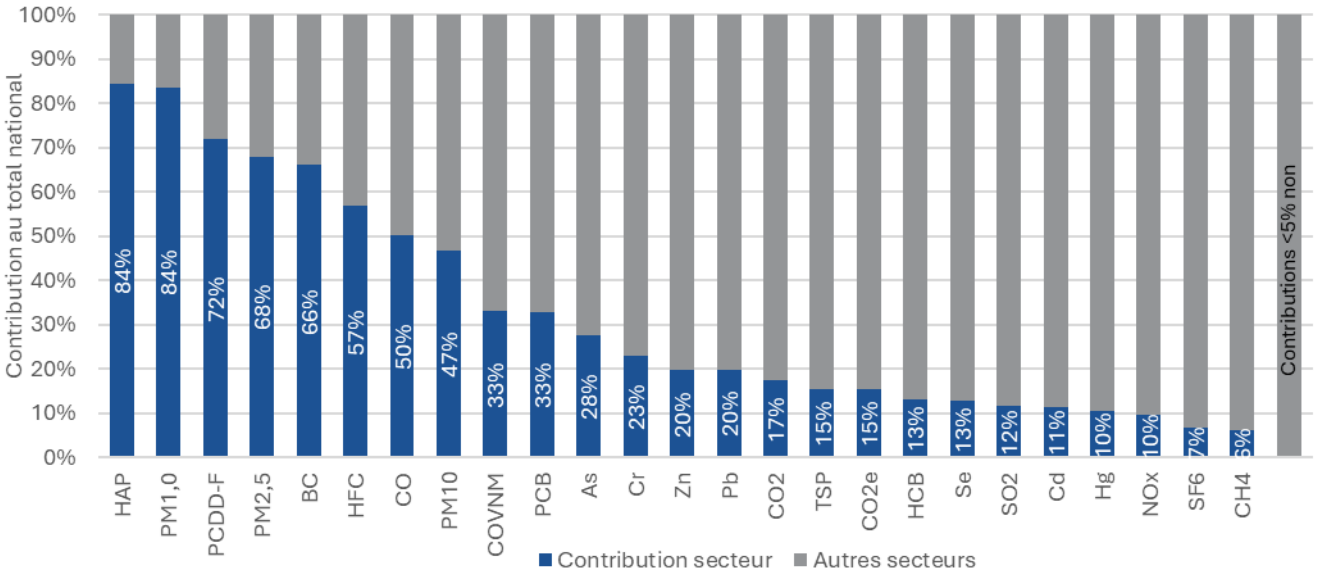


** A noter que les émissions de CO_2 liées à la combustion de biomasse, comptabilisées en UTCATF, sont aussi présentées, à titre d'information, par secteur consommateur dans les données Secten – onglet « CO2 biomasse »*

Ce secteur, bien qu'appelé « Bâtiments » pour « bâtiments du résidentiel-tertiaire » dans les graphes SNBC, ne correspond pas exactement au secteur bâtiments tel qu'il est pris en compte dans certaines réglementations ou par la profession. Notons en particulier que :

- La construction n'est pas incluse dans ce secteur mais dans *Industrie manufacturière et construction* ;
- L'artificialisation des sols est incluse dans le secteur UTCATF ;
- Les émissions liées aux installations de réfrigération sont incluses dans le secteur tertiaire (les émissions de HFC par exemple, ne sont donc pas seulement liées à la climatisation des bâtiments mais aussi aux installations de froid commercial et entrepôts) ;
- Les émissions liées aux réseaux de chaleur ou au chauffage électrique sont comptabilisées dans le secteur *Industrie de l'énergie* dans lequel la chaleur ou l'électricité est produite.

Principales substances émises par le secteur

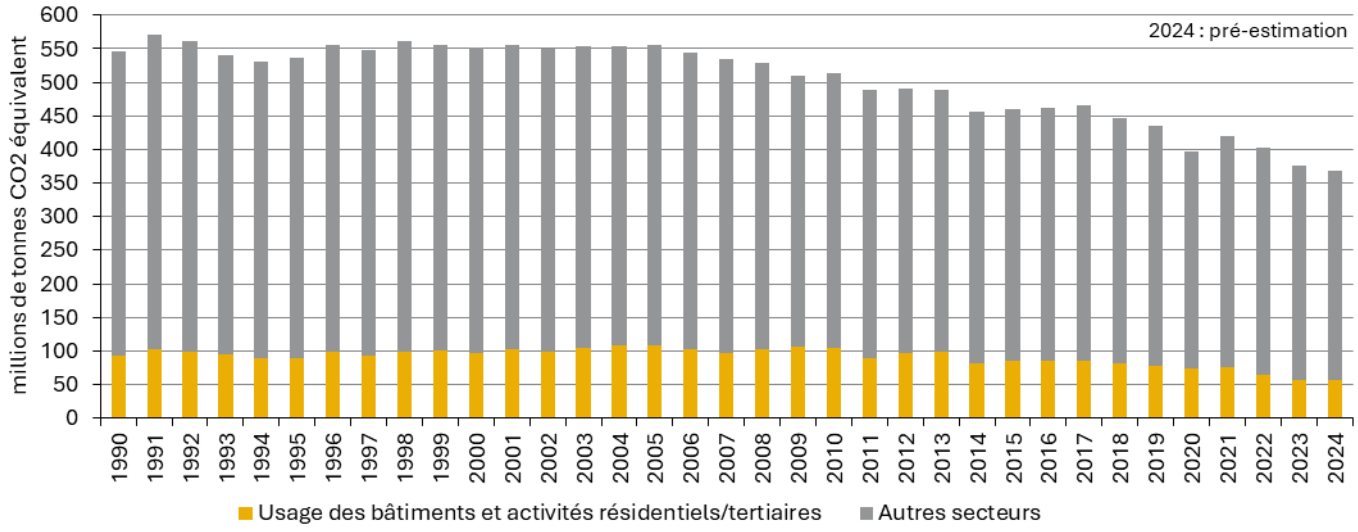


Substances pour lesquelles le secteur résidentiel/tertiaire contribue pour au moins 5% aux émissions en 2023

En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire contribue pour plus de 50% aux émissions nationales de sept polluants : HAP et $PM_{1,0}$ (84%), dioxines et furanes (PCDD-F) (72%), $PM_{2,5}$ (68%), carbone suie (BC) (66%), HFC (57%) et monoxyde de carbone (CO) (50%). Pour la plupart de ces polluants et à l'exception notable des HFC (Gaz fluorés – Hydrofluorocarbures), le secteur résidentiel est très majoritairement responsable de ces émissions en comparaison à la contribution du secteur tertiaire, moins importante.

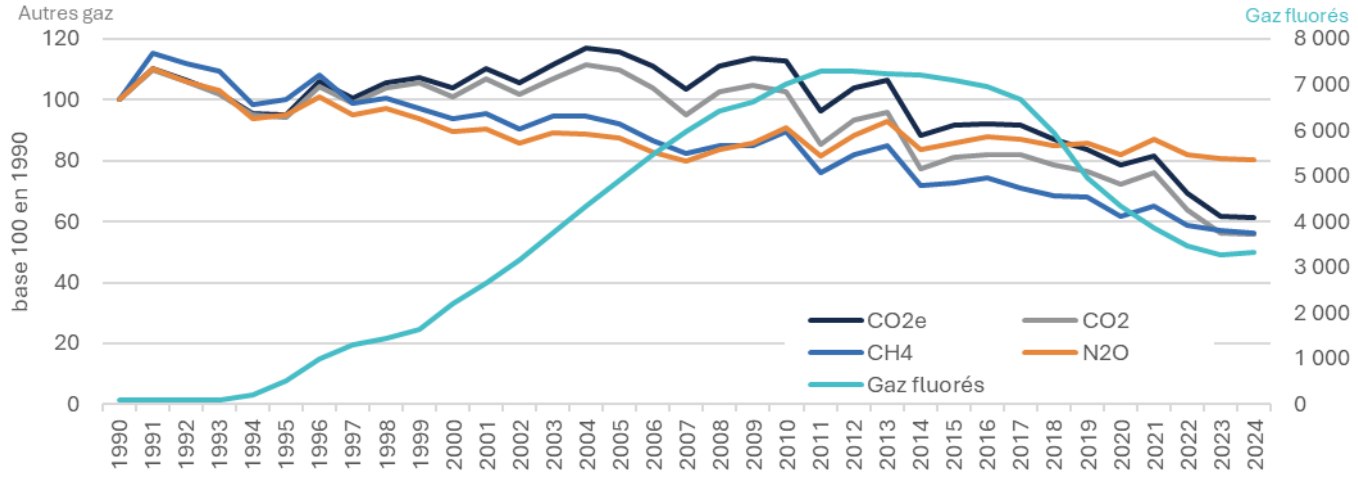
Emissions de Gaz à effet de serre

Le graphe ci-dessous présente l'évolution des émissions du secteur résidentiel-tertiaire comparée aux émissions totales de GES. L'allure est relativement stable. Depuis 2013, une baisse des émissions de GES est notable, principalement liée à la réduction des émissions de CO_2 et de HFC. La crise sanitaire et les différentes périodes de confinement en 2020 n'ont pas eu d'impact notable sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur résidentiel-tertiaire. En 2024, la pré-estimation des émissions de CO_2e, indique une quasi-stagnation (- 0,7%) des émissions pour ce secteur.



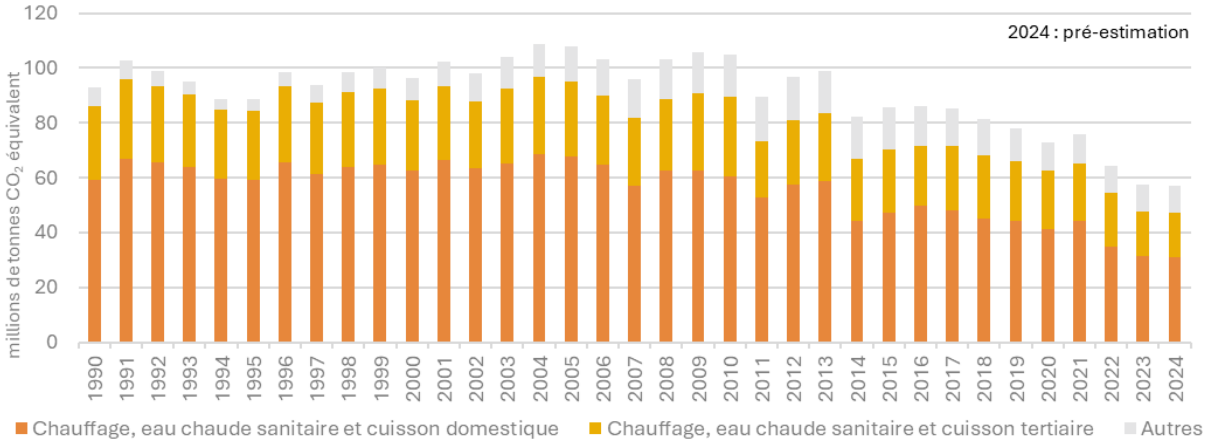
Evolution des émissions totales de gaz à effet de serre du secteur en CO_2e

Sur la période 1990-2023, les émissions de GES du secteur couvrant l'usage des bâtiments résidentiels-tertiaires ont diminuées de 31 Mt CO_2e. Après un rebond post crise sanitaire et confinements en 2021, les émissions sont fortement reparties à la baisse en 2022 et 2023 avec 24% de diminution en 2023 par rapport à 2021.



Evolution relative des émissions du secteur des usages/activités des bâtiments résidentiels/tertiaires des différents GES en France (Métropole et Outre-mer UE) (base 100 en 1990)

L'allure des émissions de gaz à effet de serre est fortement impactée par celle des émissions de CO_2 étant donné qu'elles représentent, pour le résidentiel-tertiaire, 84% des émissions de gaz à effet de serre en CO_2 équivalent en 2023 et entre 81% et 92% depuis 1990. La part de la contribution des gaz fluorés est croissante, de 1% en 1995 à 8% en 2023 (le pic ayant été atteint en 2014 avec 13% des émissions de GES du secteur). La contribution du CH_4 au émissions GES du secteur a baissé : de 7% dans les années 1990, elle a une part stable à [5-6]% depuis 2004. Enfin, la contribution du N_2O est marginale : elle ne représente qu'1% des émissions de GES du secteur résidentiel-tertiaire, part stable sur l'historique.



Répartition des émissions de CO_2e du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole et Outre-mer UE)

Les émissions de gaz à effet de serre du secteur résidentiel-tertiaire, tout gaz confondus, sont majoritairement dues aux applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique qui représentent 55% des émissions de CO_2e du secteur résidentiel-tertiaire en 2023 suivies par celles du tertiaire pour les mêmes types d'usages à hauteur de 28%.

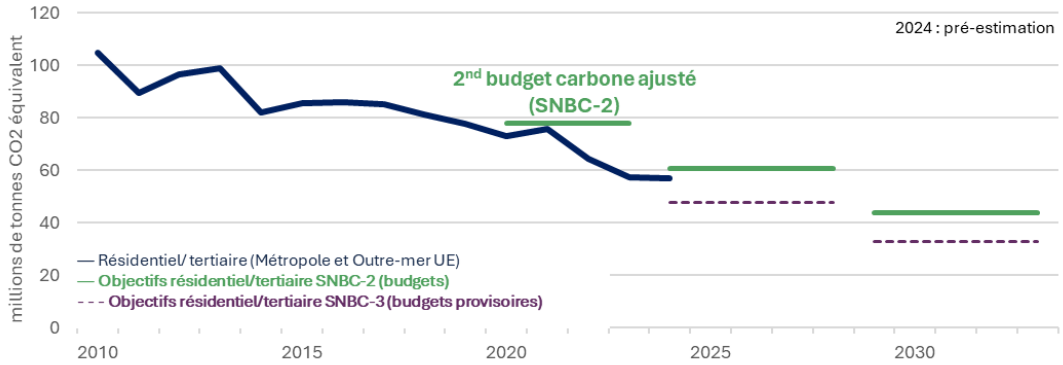
Evolution globale du secteur sur la période 2023-2024

En 2024 les émissions suivent un léger infléchissement à la baisse de -0,7%. Selon cette pré-estimation, le secteur résidentiel-tertiaire atteint, avec 57 $MtCO_2e$, son niveau d'émissions de GES le plus bas depuis 1990. Cette tendance estimée pour 2024 permet d'être en phase avec la trajectoire définie dans le cadre de la SNBC-2, avec un niveau moyen fixé pour la période 2024-2028 à 61Mt CO_2e. En revanche, les objectifs proposés pour ce secteur dans le projet de SNBC-3 sont plus ambitieux avec un budget carbone prévisionnel pour le secteur de 48 $MtCO_2e$. Il faudra donc observer une accélération du rythme de réduction pour ce secteur sur les années à venir pour respecter les objectifs potentiels du 3ème budget carbone.

L'estimation provisoire pour l'année 2024 (57,1 $MtCO_2e$) est marquée par une baisse du nombre de rénovation énergétique, des températures légèrement plus douces par rapport à 2023 et une faible hausse des prix de l'énergie et de la consommation.

Objectifs

Entre 2019 et 2023, les émissions de GES s'élèvent en moyenne à 70 Mt CO_2e par an, niveau inférieur au 2nd budget carbone ajusté couvrant la période de 78 $MtCO_2e$[49].



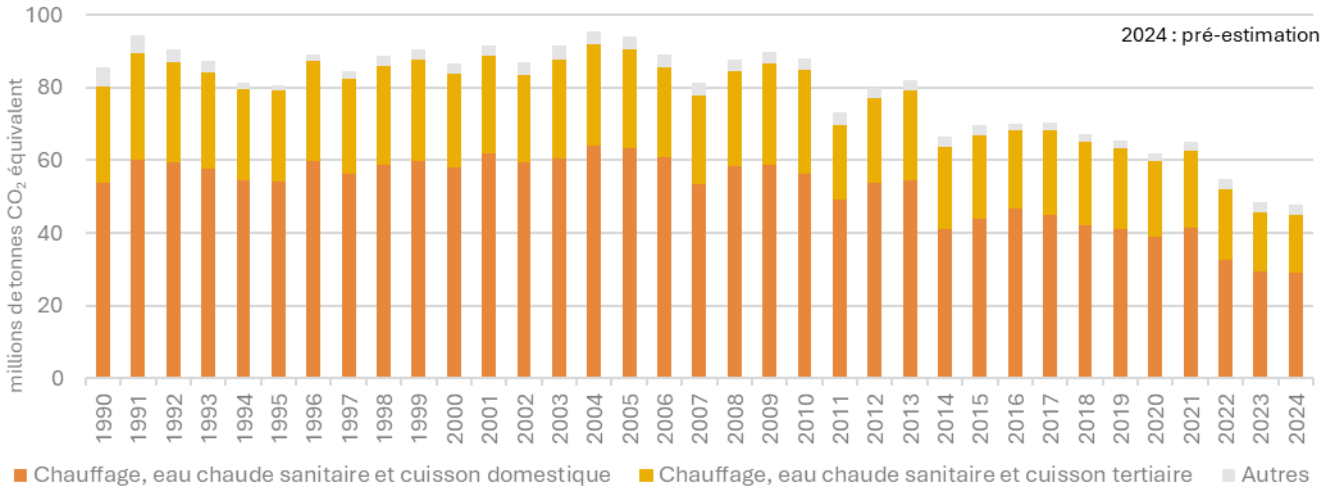
[49] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten 2025).

Détail par gaz à effet de serre

CO_2 | Dioxyde de carbone

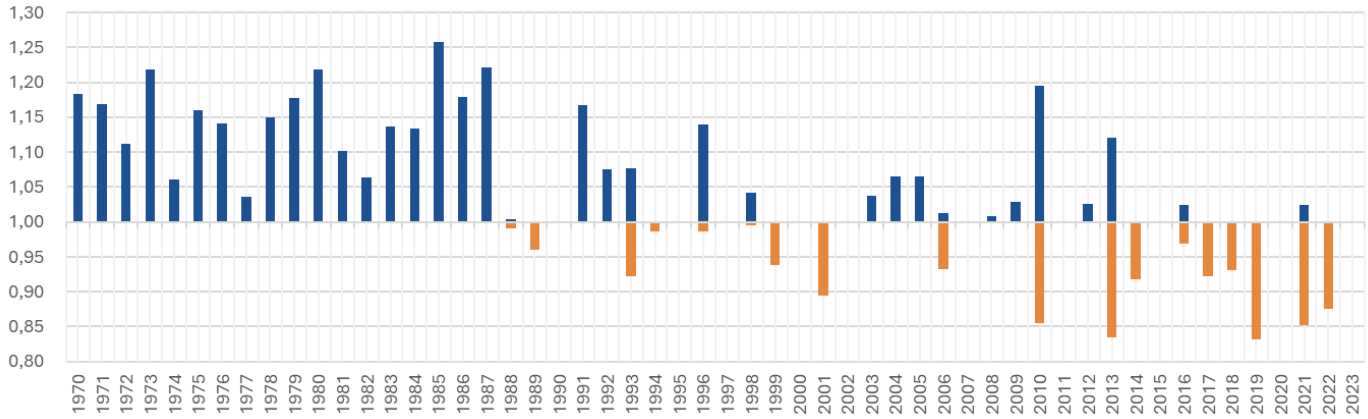
Tendance générale

Entre 1990 et 2010, les émissions de CO_2 (hors biomasse) ont légèrement augmenté du fait de la hausse des consommations énergétiques du secteur. Les variations constatées depuis 2010 sont principalement liées aux variations climatiques en France métropolitaine entre ces années (les années 2011, 2014-2015 et 2020-2021 ont été particulièrement douces).



Répartition des émissions de CO_2 du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole et Outre-mer UE)

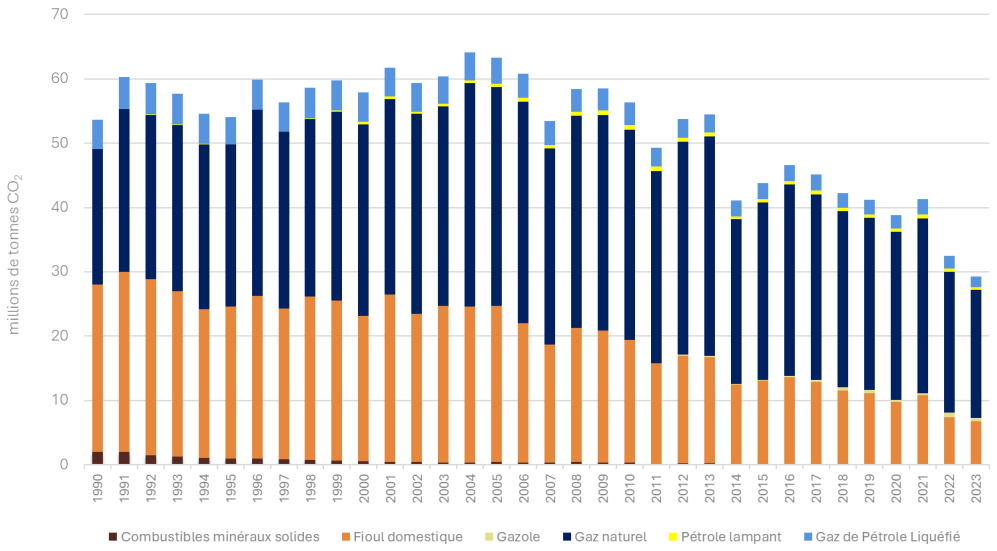
Les émissions de CO_2 de la biomasse, comptabilisées hors total, ont connu une hausse de 2007 à 2010 due à des consommations plus importantes résultant notamment de la mise en place de politiques nationales incitant à la consommation de biomasse (PPI Chaleur : Programmation Pluriannuelle des Investissements de production de chaleur ; projet BCIAT (Biomasse, Chaleur, Industrie, Agriculture, Tertiaire) de l'ADEME)). Depuis 2010, les évolutions interannuelles sont, en partie non négligeable, liées aux variations climatiques.



Evolution de l'indice de rigueur climatique en France métropolitaine

Chauffage résidentiel

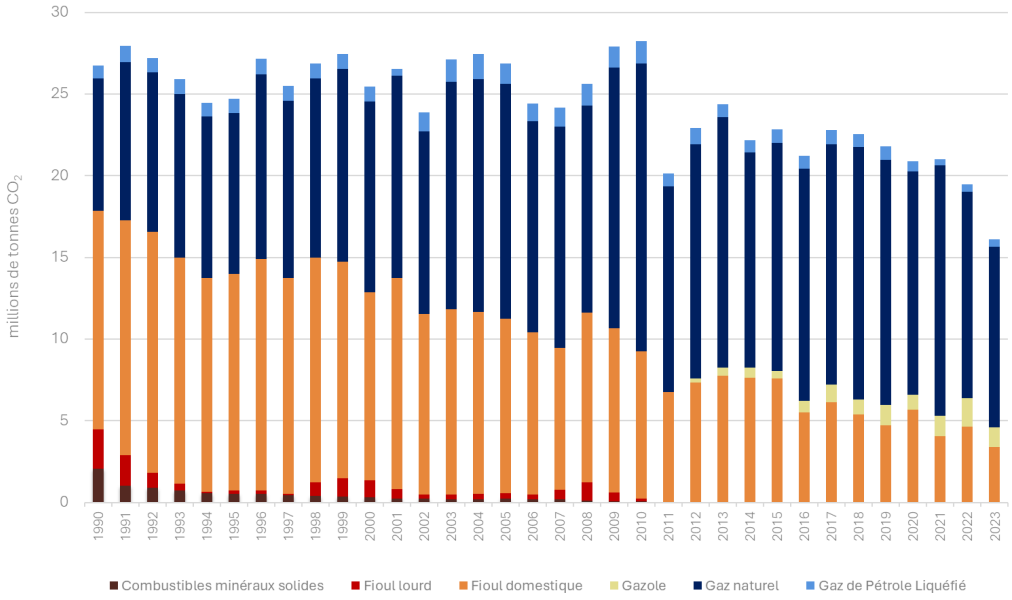
Les émissions de CO_2 du secteur résidentiel-tertiaire, sont majoritairement dues aux applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique qui représentent, en 2023, 61% des émissions de CO_2 du secteur résidentiel-tertiaire suivies par celles du tertiaire pour les mêmes types d'usages à hauteur de 34%. Le reliquat est principalement dû au sous-total des « Autres activités tertiaires (y.c. feux d'artifices, activités militaires, crémation) ». Le détail par combustible de ces sous-secteurs prédominants sont présentés ci-dessous :



Répartition par combustible des émissions de CO_2 du sous-secteur du chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique (Métropole et Outre-mer UE)

En 1990, le fioul domestique représente 49% des émissions de CO_2 (à 26 Mt) de ce sous-secteur, une proportion qui diminuent progressivement pour atteindre 23% de ces émissions en 2023 (à 6,7 Mt). En parallèle, la contribution du gaz naturel augmente fortement passant de 39% des émissions de CO_2 en 1990 (à 21,1 Mt) à 68% en 2023 (à 19,9 Mt). L'usage des combustibles minéraux solides (charbon ou agglomérés) a toujours été faible (4% en 1990 à 2 Mt CO_2) et a quasiment disparu depuis les années 2000. Les émissions de CO_2 associées au gaz de pétrole liquéfié (GPL) sont passées de 4,5 Mt en 1990 à 1,7 Mt en 2023 avec une contribution évoluant dans le même temps de 8% du total en 1990 à 6% en 2023.

Chauffage tertiaire



Répartition par combustible des émissions de CO_2 du sous-secteur du chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson tertiaire (Métropole et Outre-mer UE)

En 1990, le fioul domestique représente 50% des émissions de CO_2 (à 13,4 $MtCO_2$) de ce sous-secteur, une proportion qui diminuent progressivement pour atteindre 21% de ces émissions en 2023 (à 3,4 Mt). En parallèle, la contribution du gaz naturel augmente fortement passant de 30% des émissions de CO_2 en 1990 (à 8,1 Mt) à 69% en 2023 (à 11 Mt). Les usages des combustibles minéraux solides (charbon ou agglomérés) et du fioul lourd étaient notables en 1990 (8% à 2 Mt pour les CMS et 9% à 2,4 Mt pour le fioul lourd) mais ont quasiment disparu depuis les années 2000. Les émissions de CO_2 associées au gaz de pétrole liquéfié (GPL) restent faibles sur toute la période avec une contribution proche de 3% du total aussi bien en 1990 qu'en 2023.

HFC | Hydrofluorocarbure

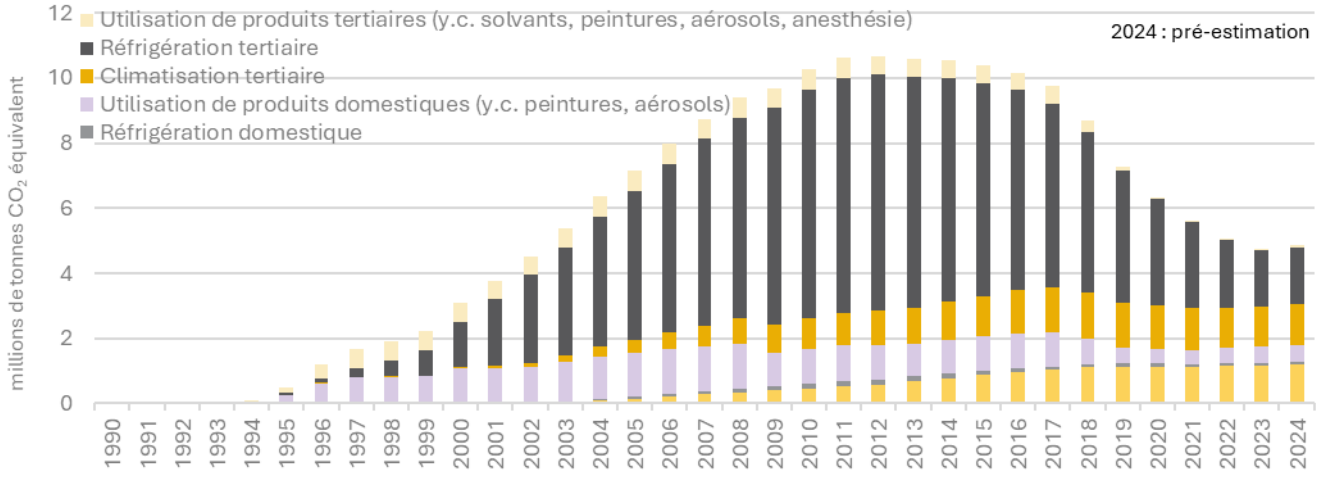
Tendance générale

Les émissions de HFC du secteur résidentiel-tertiaire sont en forte croissance depuis les années 1995, car les HFC ont progressivement remplacé les CFC et HCFC, substances appauvrissant la couche d'ozone, dans les équipements de froid, de climatisation et les aérosols. Le secteur résidentiel-tertiaire contribue à une part importante des émissions de HFC de la France (57% en 2023).

Après une période de stabilité de 2011 à 2015, les émissions de HFC du résidentiel tertiaire sont en baisse : cela résulte notamment de l'application de la réglementation F-Gas (EU) N 517/2014 ayant imposé une réduction des quantités de HFC mises sur le marché Européen, en équivalent CO_2. Ces dernières années, des alternatives aux HFC à fort PRG ont été développées : le R-32 (PRG=677) remplace progressivement le R-410A (PRG=1923,5) en climatisation par exemple, le R-404A (PRG=3943) cesse d'être utilisé en froid commercial au profit de mélanges de PRG inférieur à 1500. Par ailleurs, les pratiques de maintenance se sont améliorées, conduisant à une réduction des taux d'émissions ; de plus, la pénurie de HFC sur le marché européen encourage à la réutilisation et au recyclage, limitant également les émissions en fin de vie des équipements.

Près de la moitié des émissions de HFC (en équivalent CO_2) proviennent des applications de réfrigération (froid commercial et entrepôts). Ceci est dû au parc d'installations encore important utilisant le R-404A (PRG=3943) ; les émissions se produisent au cours de la vie des équipements, des opérations de maintenance ou lors des fins de vie ou conversions d'installations (rétrofit) vers des fluides frigorigènes à plus faible PRG.

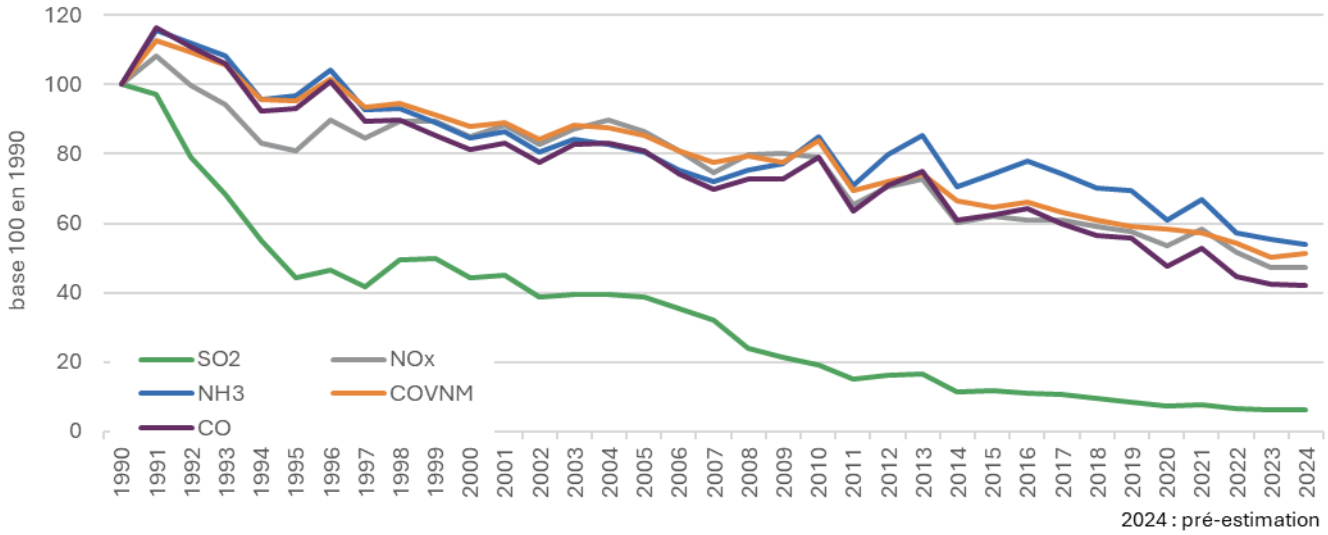
En 2023, 26% des émissions de HFC du secteur résidentiel-tertiaire sont dues à la climatisation tertiaire et 24% à la climatisation domestique. Les émissions de la climatisation domestique sont croissantes car le parc d'équipements est en forte croissance et une part des équipements n'est pas encore prise en charge par les filières de traitement de fin de vie. Les émissions dues aux produits domestiques sont en forte baisse depuis 2018 à cause de l'interdiction réglementaire de mettre sur le marché des aérosols techniques contenant des HFC dont le PRG est supérieur à 150.



Répartition des émissions de HFC du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole et Outre-mer UE)

Émissions de polluants atmosphériques

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique (AEPP)

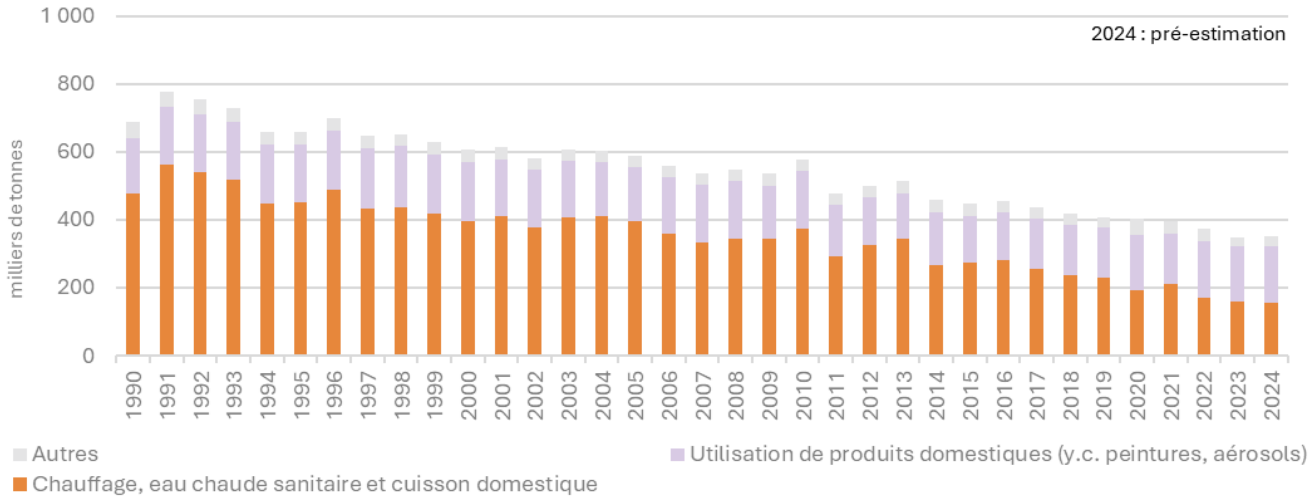


Evolution relative des émissions du secteur Résidentiel/tertiaire des substances de l'AEPP en France (Métropole) (base 100 en 1990)

COVNM | Composés Organiques Volatils

La part des émissions de COVNM du secteur résidentiel-tertiaire dans le total national demeure élevée (33% des émissions nationales en 2023) malgré un recul significatif des émissions depuis 1990. Cette baisse est imputable en grande partie aux améliorations des performances des équipements fonctionnant au bois dans le résidentiel ainsi qu'à la baisse de la teneur en solvants des peintures domestiques.

L'utilisation de combustibles dans le secteur tertiaire (pour les usages de chauffage, ECS et cuisson) ne contribue que marginalement aux émissions de COVNM de ce secteur.



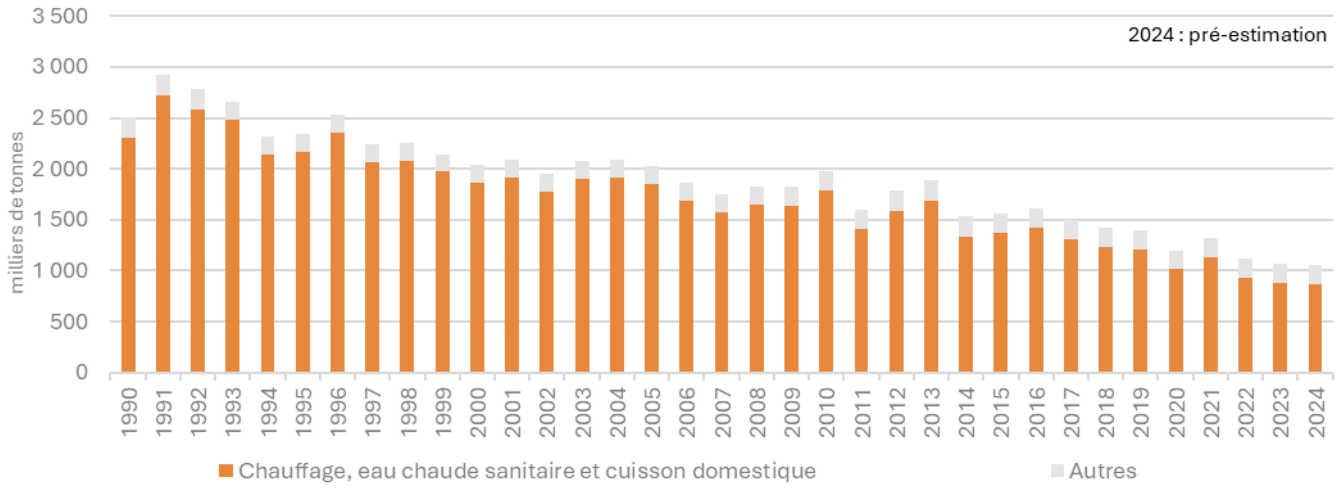
Répartition des émissions de COVNM du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

CO | Monoxyde de carbone

Les émissions de CO du secteur résidentiel-tertiaire représentent aussi une part élevée des émissions nationales (50% en 2023). Elles proviennent principalement de la combustion du bois dans les équipements domestiques. Le renouvellement progressif du parc d'appareils de chauffage depuis 1990 vers des équipements ayant de meilleures performances environnementales ainsi que l'usage croissant des

granulés de bois a permis une baisse sensible des émissions de CO.

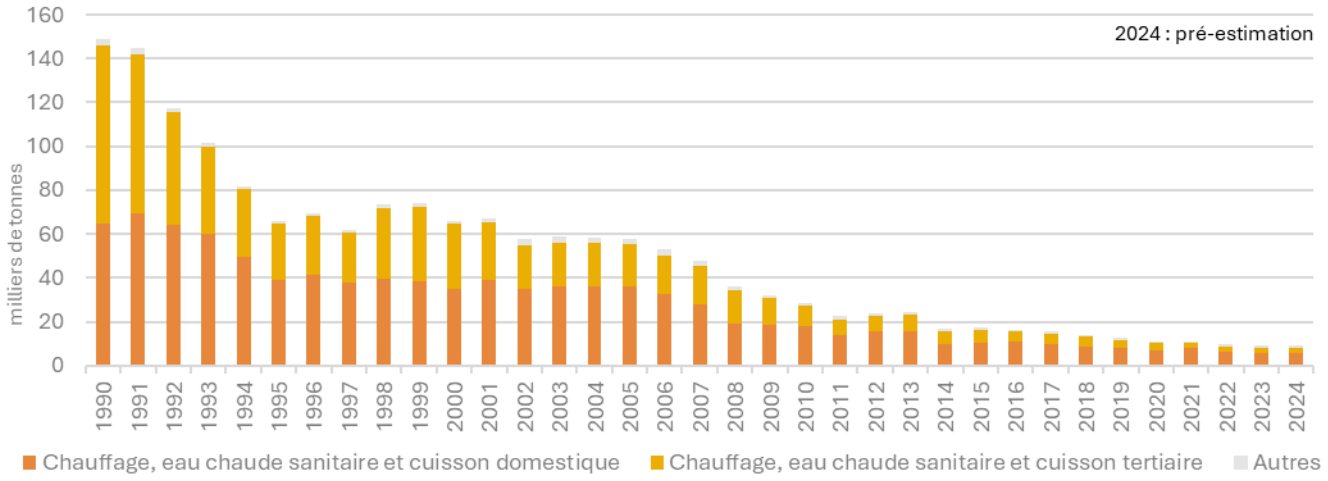
L'utilisation de combustibles dans le secteur tertiaire (pour les usages de chauffage, ECS et cuisson) ne contribue que marginalement aux émissions de CO de ce secteur.



Répartition des émissions de CO du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

SO_2 | Dioxyde de soufre

Les émissions de SO_2 du secteur résidentiel-tertiaire représentent aussi une part significative des émissions nationales (11,5% en 2023). Elles proviennent principalement de soufre présent dans les combustibles utilisés pour les applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique qui s'oxyde en quasi-totalité lors de la réaction de combustion.



Répartition des émissions de SO_2 du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

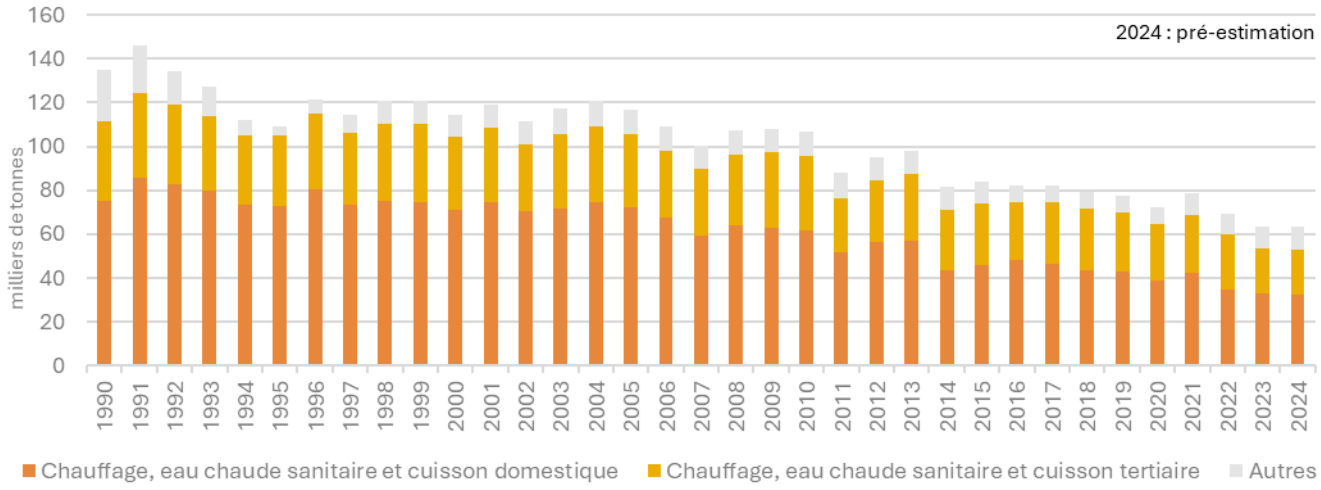
Les émissions de SO_2 issues de la combustion dans le secteur résidentiel-tertiaire sont en forte baisse depuis 1990. Cette baisse est imputable à la baisse de la teneur en soufre des combustibles et à l'évolution du mix énergétique notamment à la forte diminution de l'utilisation du fioul lourd (fortement émetteur de SO_2) dans le secteur tertiaire dans le début des années 1990.

La baisse constatée entre 2007 et 2008 est liée à la réduction de la teneur en soufre du fioul domestique utilisé en France depuis le 1er janvier 2008 (teneur fixée à 0,1% au lieu de 0,2%).

La baisse observée en 2014 provient d'une moindre consommation énergétique du fait d'une année particulièrement chaude. L'année 2023 constitue le niveau le plus bas observé sur la période 1990-2023, soit une baisse de 94% par rapport à 1990.

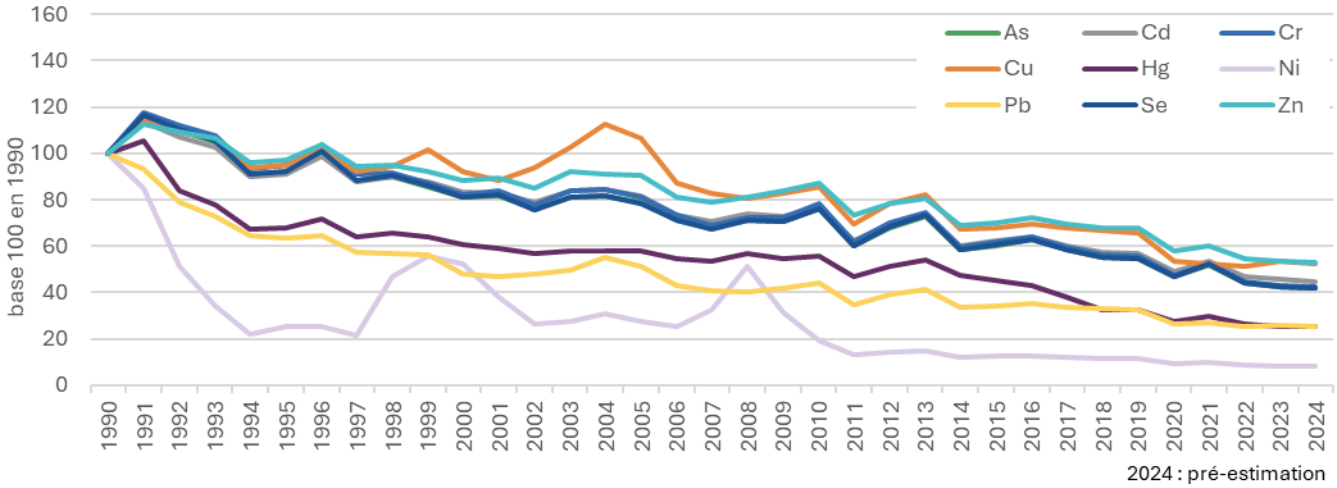
NO_X | Oxydes d'azote

Les émissions de NO_x du secteur résidentiel-tertiaire représentent aussi une part significative des émissions nationales (10% en 2023). Après une première période de baisse prononcée entre 1990 et 1995, les émissions de ce secteur ont été relativement stables sur la période 1995-2010. Les légères variations annuelles observées sont liées aux consommations énergétiques dépendant des conditions climatiques. Lors des années plus douces (1990, 2002, 2007, 2011, 2014), les demandes énergétiques pour le chauffage sont plus faibles qu'en année "moyenne" et inversement lors des années avec des conditions climatiques plus rigoureuses (1991, 1996, 2010).



Répartition des émissions de NOx du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

Métaux lourds

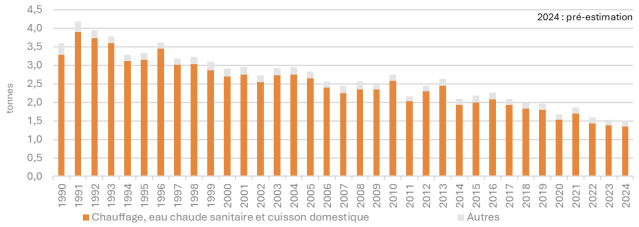


As, Cd, Cr, Se | Arsenic, Cadmium, Chrome, Selenium

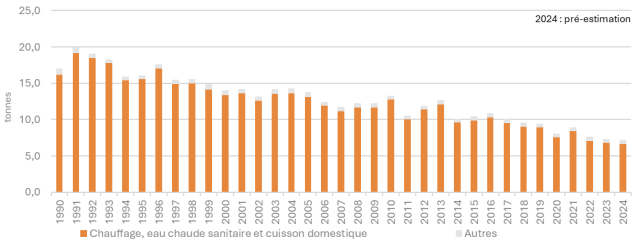
Malgré les effets positifs de l'évolution des consommations de combustibles et un recul notable des émissions depuis 1990, la part des émissions de métaux lourds du secteur résidentiel-tertiaire demeure relativement importante du fait de leur présence dans le bois notamment, largement consommé dans le chauffage résidentiel.

En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente :

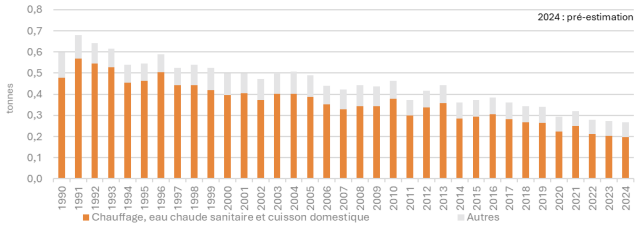
- 28% des émissions nationales d'arsenic ;
- 11% des émissions nationales de cadmium ;
- 23% des émissions nationales de chrome ;
- 13% des émissions nationales de sélénium.



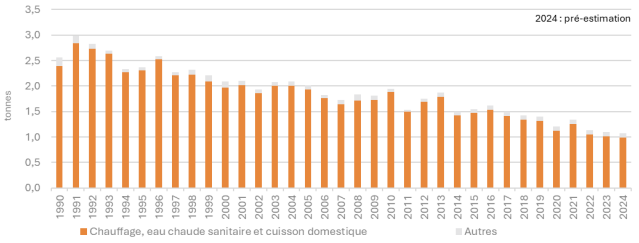
Répartition des émissions d'As du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)



Répartition des émissions de Cr du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)



Répartition des émissions de Cd du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

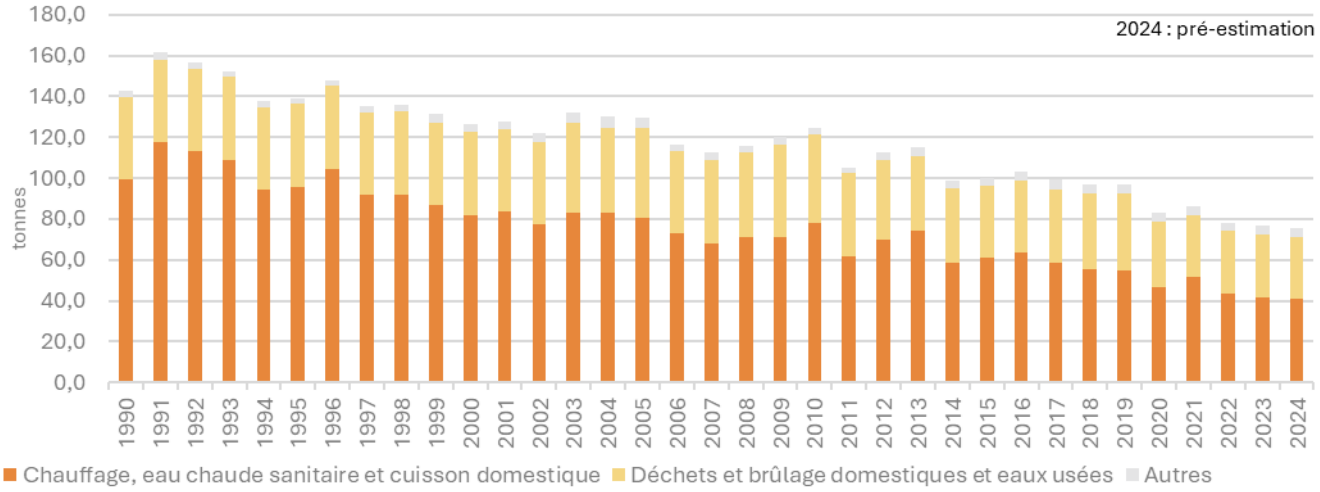


Répartition des émissions de Se du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

Zn | Zinc

En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 20% des émissions nationales de zinc. Les émissions sont en baisse depuis les années 1990.

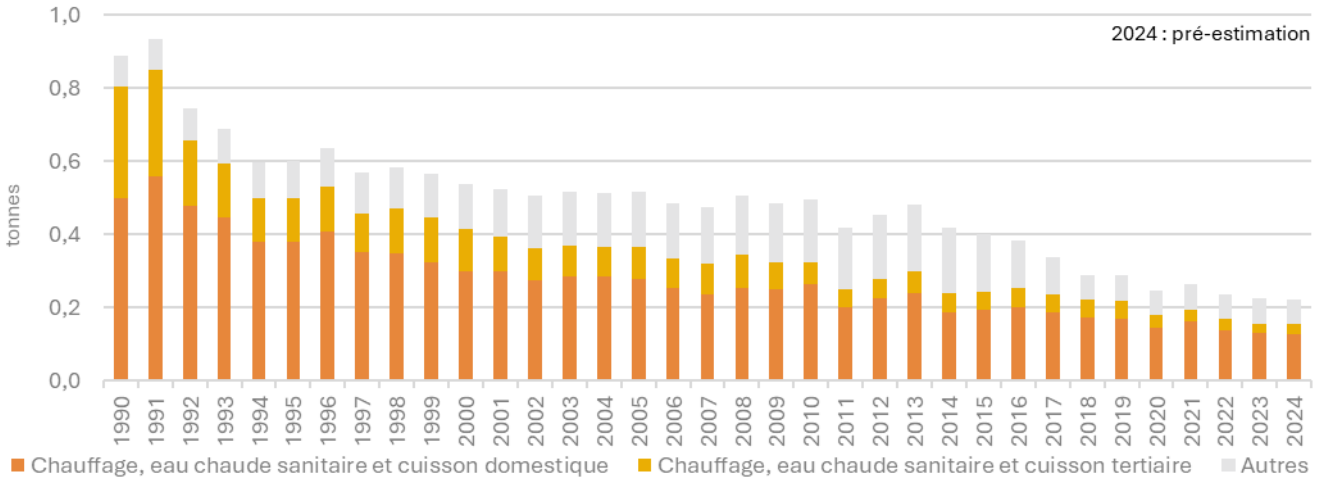
Une part significative des émissions de zinc provient des déchets et brûlages domestiques, plus précisément, est liée aux feux de véhicules (dont le facteur d'émission est très élevé).



Répartition des émissions de Zn du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

Hg | Mercure

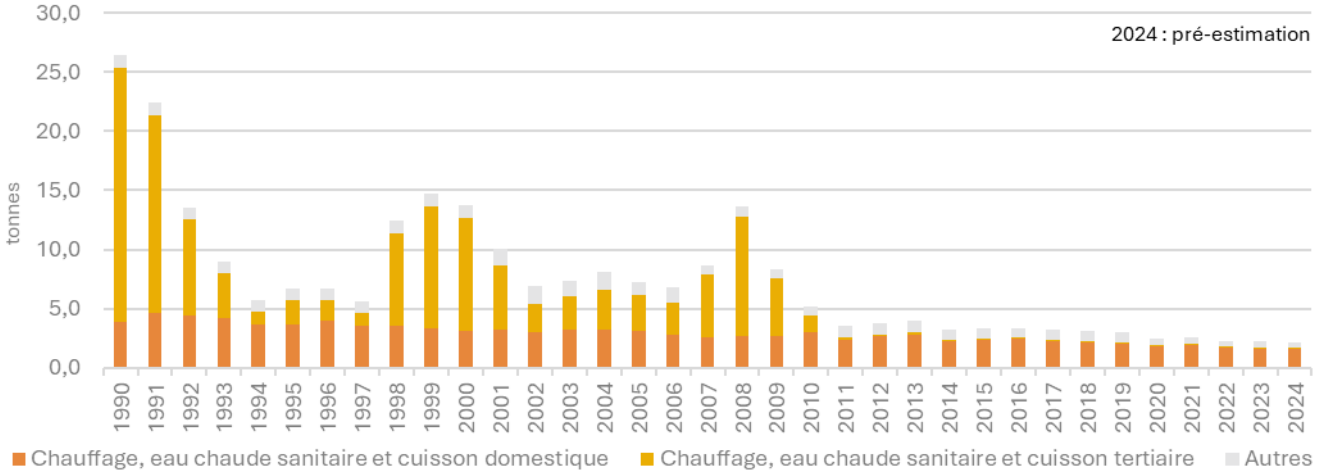
Les émissions de mercure proviennent des traces de ce métal dans les Combustibles Minéraux Solides (CMS), les combustibles liquides et le bois. La réduction des consommations de CMS et des combustibles pétroliers liquides au profit du gaz naturel contenant peu de mercure a contribué à la baisse des émissions de Hg du résidentiel tertiaire. En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 10,5% des émissions nationales de mercure.



Répartition des émissions de Hg du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

Ni | Nickel

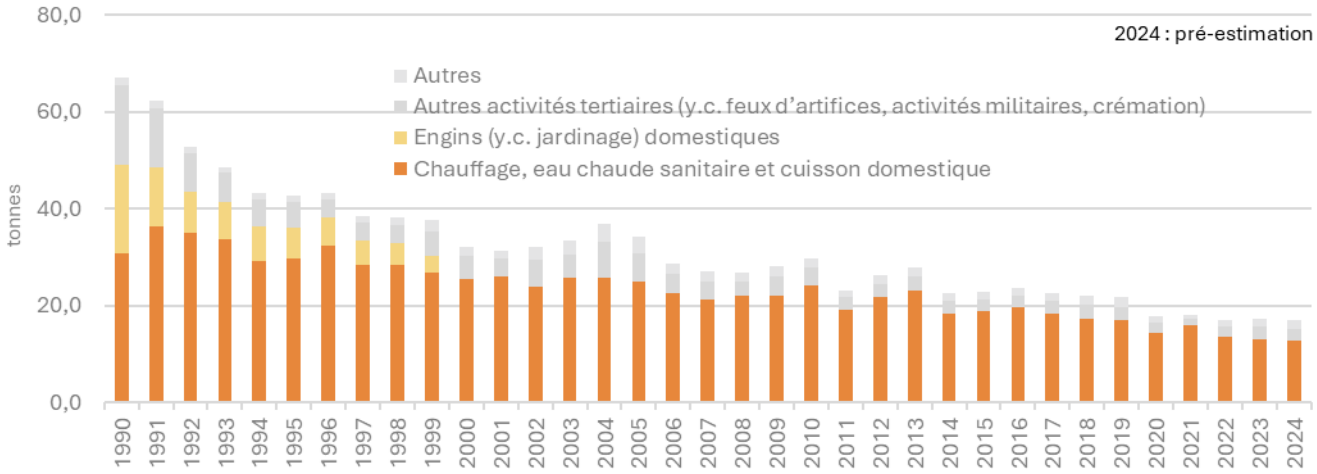
Les émissions de nickel proviennent en grande partie des traces de ce métal dans le fioul lourd et, dans une moindre mesure, dans le bois. Les applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson du tertiaire et du résidentiel sont responsables de la majorité des émissions de nickel du fait de la consommation de fioul lourd. En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 10% des émissions nationales de nickel.



Répartition des émissions de Ni du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

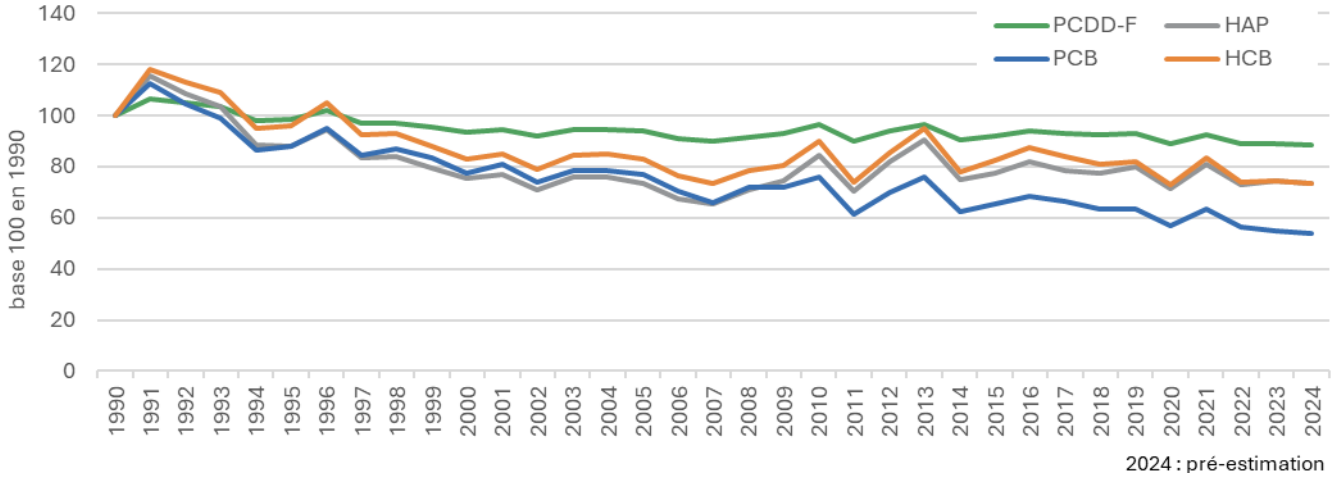
Pb| Plomb

La baisse des émissions de plomb dans ce secteur (principalement liées à la combustion) depuis 1990 est importante (-74% entre 1990 et 2023). Elle s'explique, d'une part, par une meilleure performance des équipements individuels fonctionnant au bois (abattement des émissions particulaires) et, d'autre part, par l'arrêt d'utilisation de l'essence au plomb dans les engins mobiles non routiers du secteur résidentiel. En 2023 le secteur du résidentiel-tertiaire représente 20% des émissions nationales de plomb.



Répartition des émissions de Pb du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

POP | Polluants Organiques Persistants



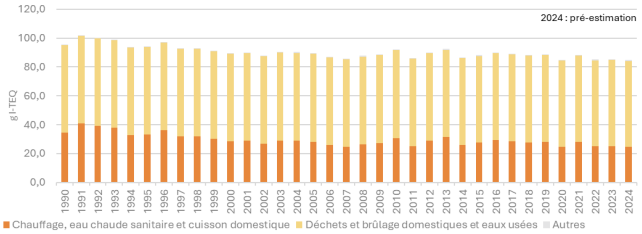
Tendance des émissions de POP

PCDD-F, HAP | Dioxines et furanes, Hydrocarbures aromatiques polycycliques

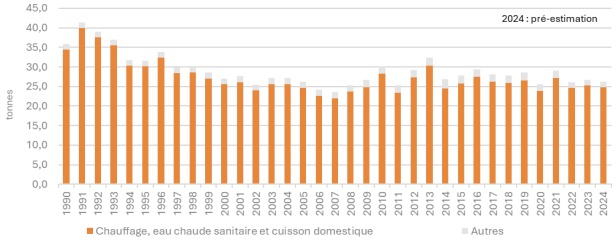
Le secteur résidentiel-tertiaire représente une part très significative des émissions nationales de HAP et de dioxines et furannes (PCDD-F) en 2023 (84% et 72% respectivement).

La part des émissions de ces polluants liées à la combustion est en légère baisse depuis 1990. Ce recul est imputable, d'une part, à l'amélioration des équipements de chauffage fonctionnant au bois dans le résidentiel et, d'autre part, à la baisse des consommations de charbon et de bois depuis 1990.

Ce secteur comptabilise également les émissions induites par les feux de déchets verts, les feux de véhicules et le brûlage de câbles.



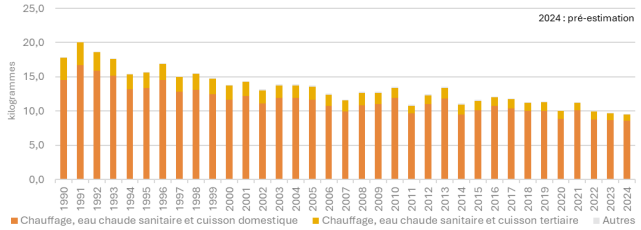
Répartition des émissions de PCDD-F du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)



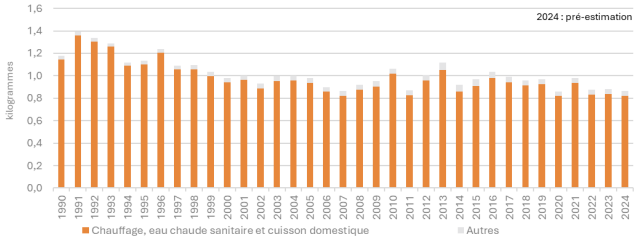
Répartition des émissions de HAP du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

PCB, HCB | Polychlorobiphényles, Hexachlorobenzène

Depuis 1990, les émissions de PCB et de HCB dues au résidentiel-tertiaire sont globalement en baisse, mais tendent à stagner depuis les années 2000. En 2023, ce secteur représente respectivement 33% et 13% des émissions nationales de PCB et de HCB. Les émissions évoluent selon les consommations respectives de combustibles.



Répartition des émissions de PCB du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)



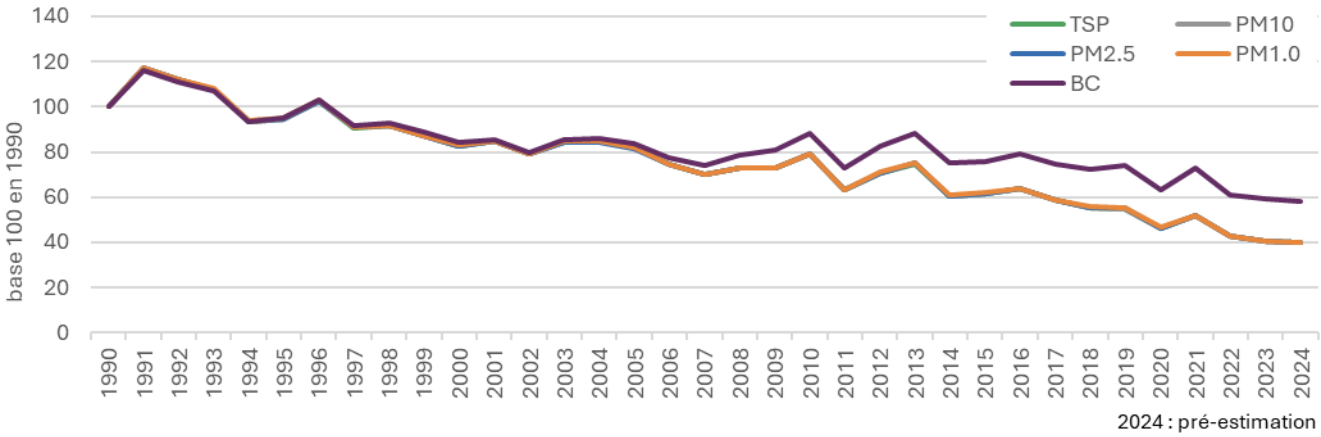
Répartition des émissions de HCB du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

PM | Particules

Les applications de chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique représentent la quasi-totalité des émissions de particules du secteur résidentiel-tertiaire. Les émissions de particules proviennent très majoritairement (à plus de 99%) de la combustion de bois et assez peu des autres combustibles utilisés dans ce même sous-secteur.

Depuis 1990, les émissions de particules de ce secteur ont fortement baissé à l'instar des observations faites pour d'autres polluants tels que SO_2, CO ou COVNM. L'augmentation des consommations de gaz naturel en remplacement des combustibles minéraux solides et combustibles liquides fossiles mais essentiellement les améliorations des performances des équipements fonctionnant au bois dans ce secteur et la baisse d'utilisation des foyers ouverts, fortement émissifs, expliquent la diminution de ces émissions. Comme pour les autres polluants, les variations interannuelles observées peuvent-être directement reliées aux variations de l'indice de rigueur climatique en France métropolitaine.

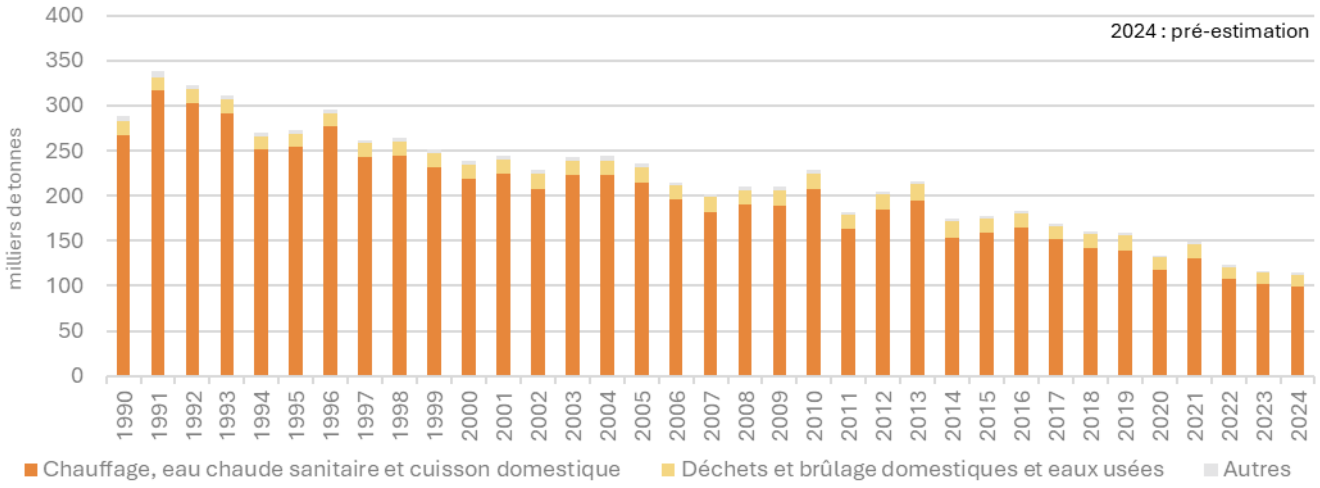
Depuis 2004, l'usage croissant des granulés de bois, contribue également à la baisse observée se substituant en partie à des appareils plus émissifs. Elle s'explique également par la mise en place progressive de labels (Flamme verte) certifiant un certain niveau de performance (sur le rendement énergétique et sur les niveaux d'émission de certains polluants dont les particules) des appareils à bûches accompagné d'améliorations technologiques qui réduisent progressivement le niveau des émissions de particules (introduction d'air secondaire dans la chambre de combustion, meilleure étanchéité, préchauffage de l'air secondaire, ...).



Tendance des émissions de particules et carbone suie

TSP | Particules totales en suspension

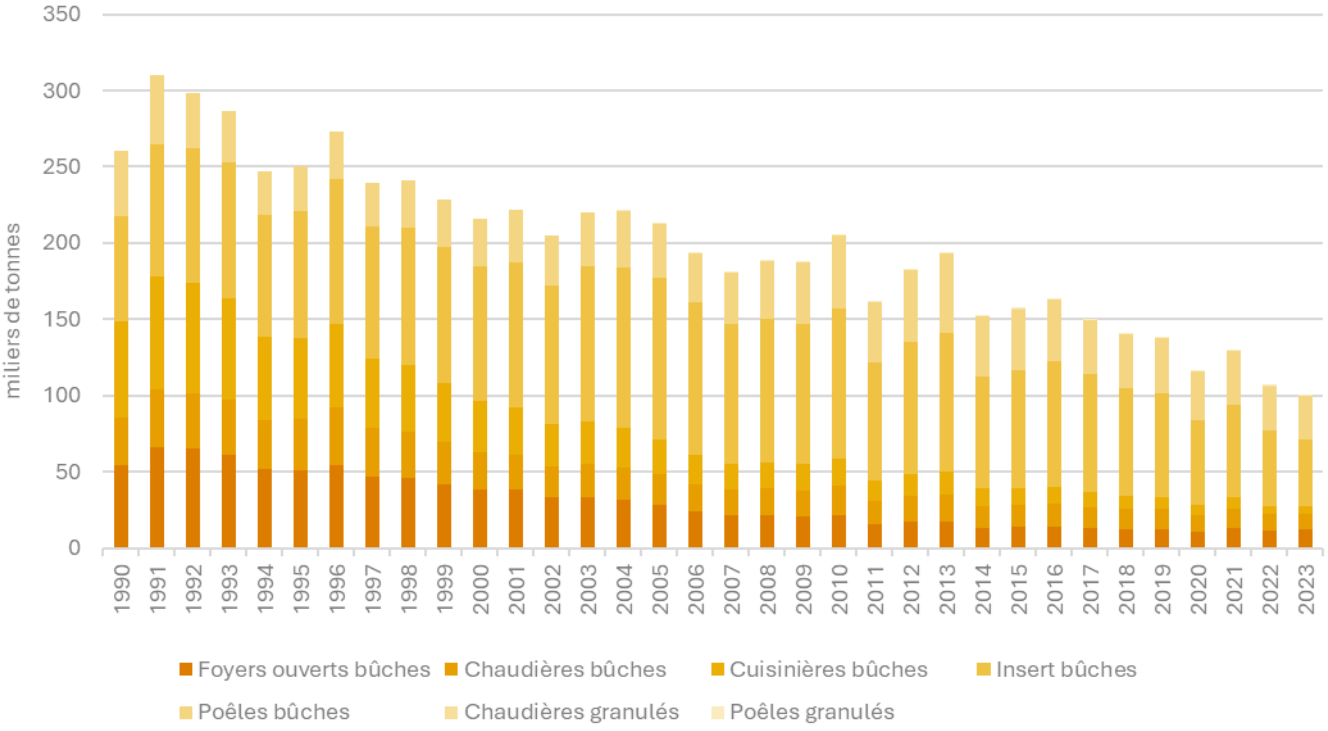
En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 15% des émissions nationales de TSP (contre 23% en 1990). Les émissions de TSP sont en baisse depuis les années 1990.



Répartition des émissions de TSP du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

Au sein du bois-énergie résidentiel et en 2023, les émissions de TSP proviennent principalement des inserts bûches (à 43%), des poêles à bûches (à 28%) mais également encore des foyers ouverts à hauteur de 12%. Le recours aux cuisinières bûches a fortement diminué depuis 1990 : celles-ci représentaient alors 24% des émissions de TSP contre seulement 5% en 2023.

Ces observations sont également valables pour les particules de granulométrie plus fines (PM_{10}, $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$).

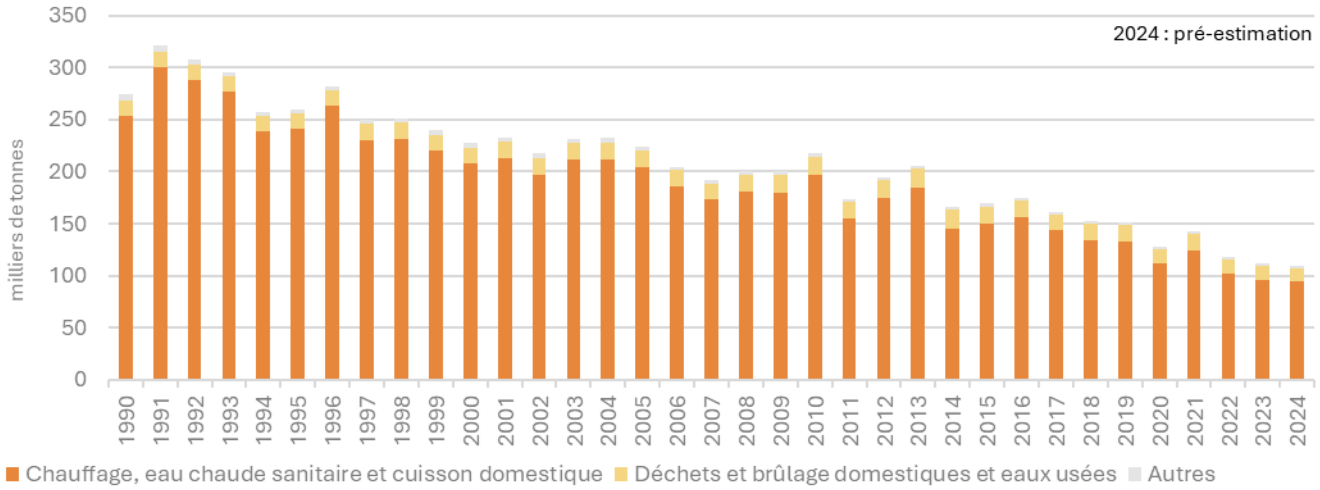


Répartition des émissions de TSP du bois-énergie par typologie d'appareil dans le secteur résidentiel en France (Métropole)

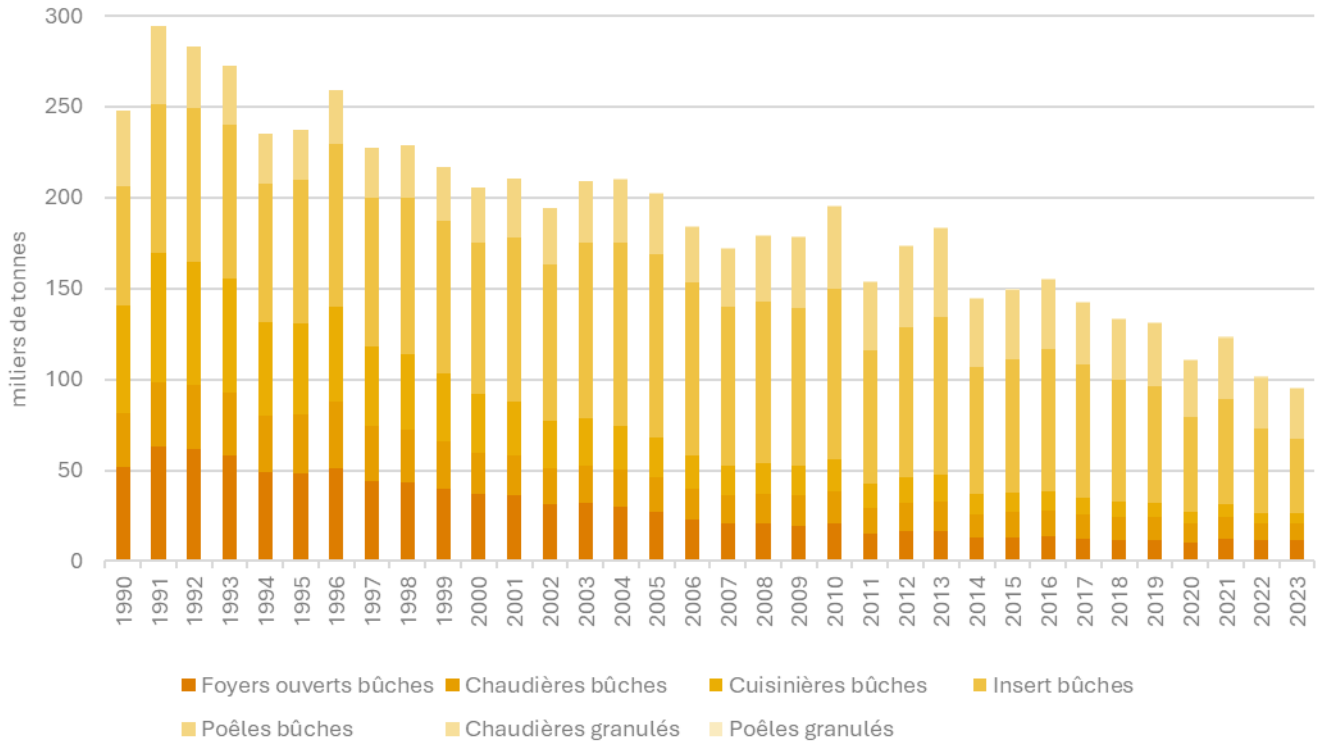
PM_{10} | Particules grossières et fines

En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 47% des émissions nationales de PM_{10} (contre 46% en 1990).

Au sein du bois-énergie résidentiel, les différentes typologies d'appareil contribuent dans des proportions similaires dans les émissions de PM_{10} à celles présentées pour les poussières totales.



Répartition des émissions de PM_{10} du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)



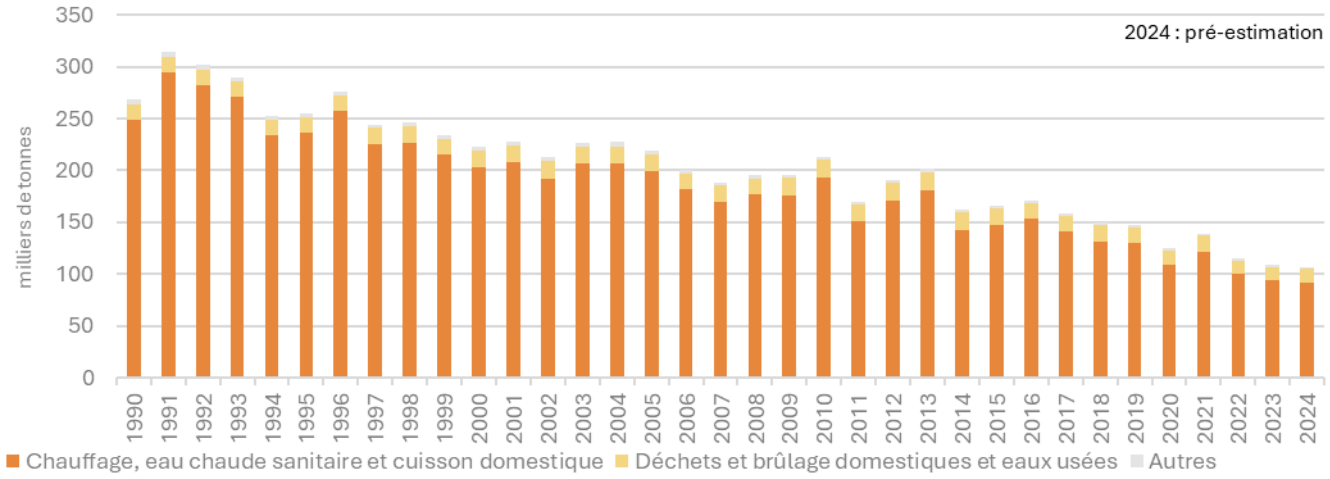
Répartition des émissions de PM_{10} du bois-énergie par typologie d'appareil dans le secteur résidentiel en France (Métropole)

$PM_{2.5}$ | Particules fines

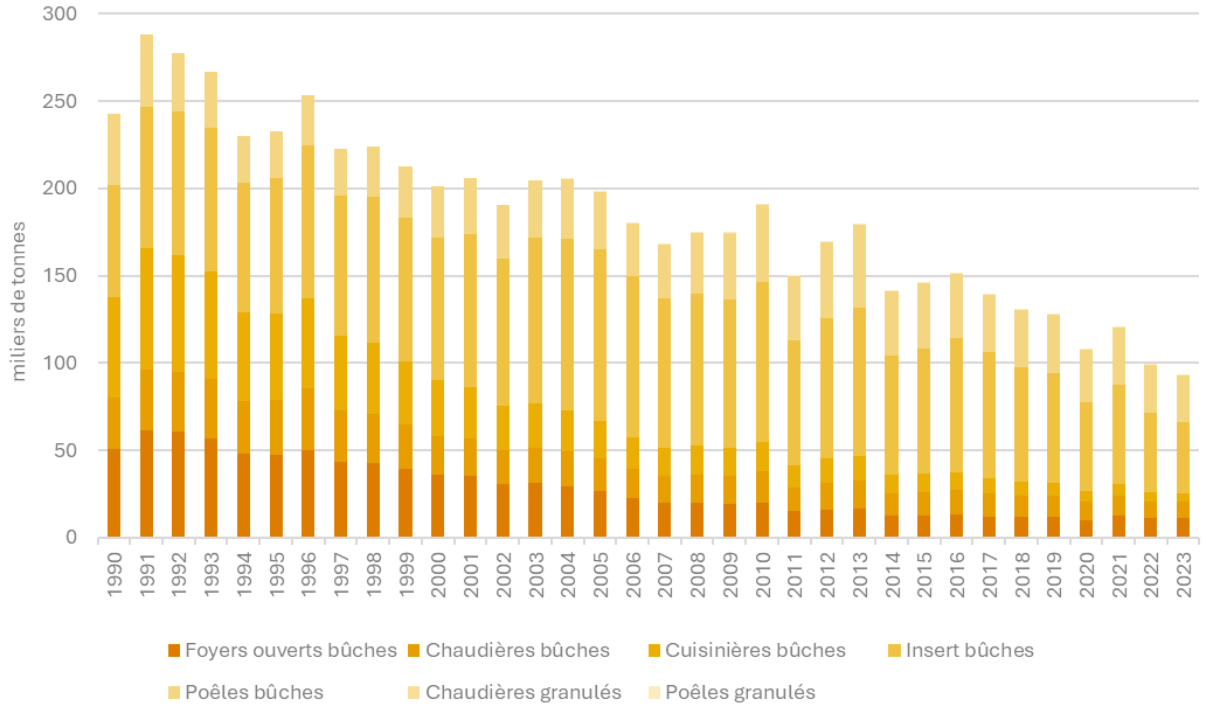
En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 68% des émissions nationales de $PM_{2.5}$ (contre 57% en 1990).

Au sein du bois-énergie résidentiel, les différentes typologies d'appareil contribuent dans des proportions

similaires dans les émissions de $PM_{2.5}$ à celles présentées pour les poussières totales.



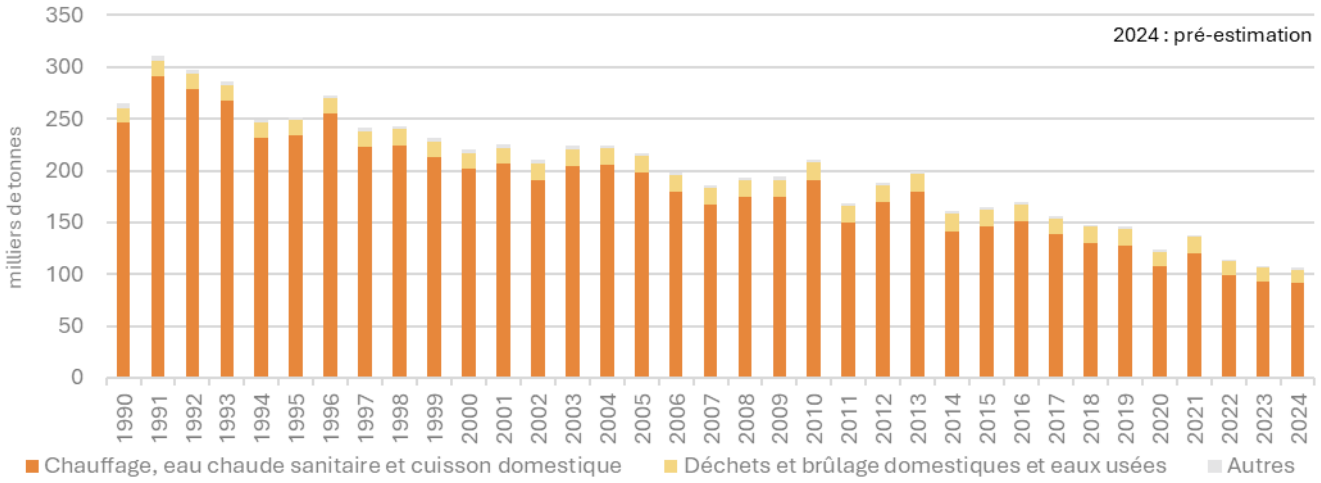
Répartition des émissions de $PM_{2.5}$ du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)



Répartition des émissions de $PM_{2.5}$ du bois-énergie par typologie d'appareil dans le secteur résidentiel en France (Métropole)

$PM_{1.0}$ | Particules très fines

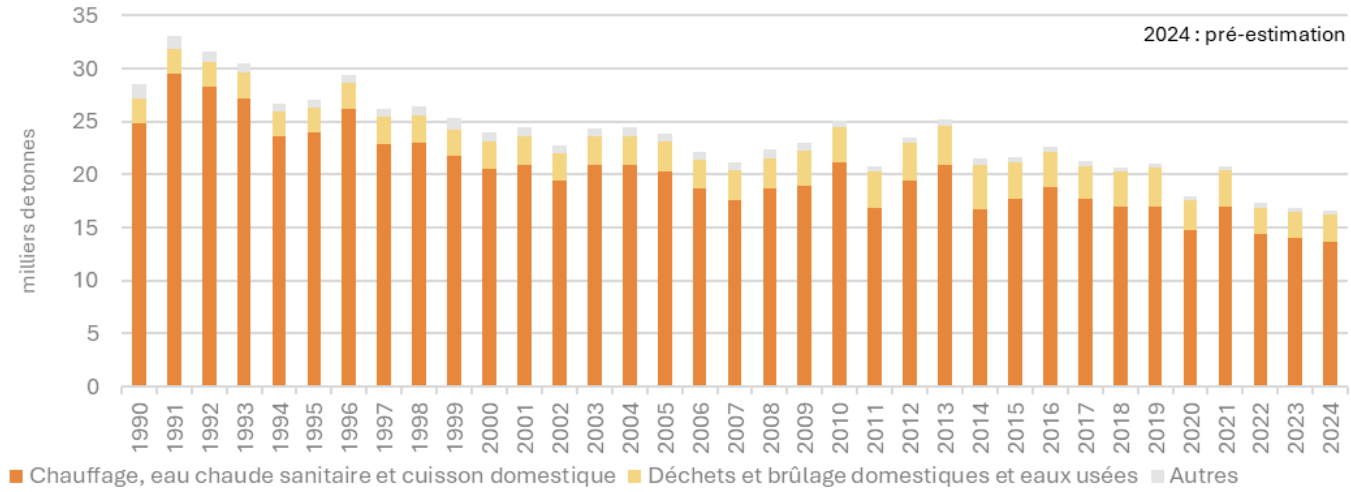
En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 84% des émissions nationales de $PM_{1.0}$ (contre 64% en 1990).



Répartition des émissions de $PM_{1.0}$ du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

BC | Carbone suie

En 2023, le secteur du résidentiel-tertiaire représente 66% des émissions nationales du carbone suie (contre 35% en 1990).



Répartition des émissions de BC du secteur du résidentiel/tertiaire en France (Métropole)

Agriculture

Rédaction : **Anaïs DURAND, Jonathan HERCULE, Etienne MATHIAS**

En bref

Le secteur agriculture et sylviculture regroupe essentiellement les émissions liées à l'agriculture, celles de la sylviculture ne représentent qu'une très faible fraction des émissions associées aux utilisations d'engins sylvicoles.

Le secteur distingue les émissions de l'élevage et celles des cultures, mais certaines émissions peuvent être associées à la fois aux élevages et aux cultures, c'est le cas des épandages d'engrais et amendements organiques. Certaines émissions ne sont pas directement associées à une orientation économique connue. C'est le cas des tracteurs, ces derniers étant aussi bien utilisés en élevage qu'en grandes cultures.

Il est important d'indiquer que les émissions et absorptions de carbone liées à l'usage des terres agricoles (biomasse et sol) et aux changements d'affectation des terres ne sont pas incluses dans le secteur agriculture et sylviculture, mais dans le secteur UTCATF (Utilisation des Terres et Forêt). Cette distinction tient à des spécificités dans la comptabilité des éventuels puits de carbone.

Dans les catégories Secten suivantes on notera que la catégorie élevage n'inclut que les émissions liées à la fermentation entérique des animaux et les émissions des effluents d'élevage au bâtiment et au stockage. Les émissions liées à l'épandage des effluents d'élevages sont incluses dans la catégorie engrais et amendements organiques, rapportées en cultures ainsi que les émissions liées à la pâture dont les émissions sont attribuées au sol.

Le secteur est à l'origine de l'émission de nombreuses substances, aussi bien des gaz à effet de serre que des polluants atmosphériques. Les processus émetteurs peuvent être biologiques (fermentation entérique chez les ruminants, processus microbiens dans les sols cultivés et les effluents d'élevage) ; physiques (émission par diffusion à l'interface sol-atmosphère, mise en suspension de particules par les outils, pulvérisation) ; ou encore chimiques (décarbonatation des amendements basiques, hydrolyse de l'urée, combustion).

En 2023, le secteur agricole est un contributeur majeur aux émissions nationales de N_2O (22 $MtCO_2e$ soit 81%), de CH_4 (43 $MtCO_2e$ soit 71%), de NH_3 (527 kt soit 96%) et de TSP (435 kt soit 57%). C'est également un contributeur notable pour les émissions de COVNM (41%), de PM_{10} (19%), de NOx (24%), de BC (6%), de $PM_{2.5}$ (6%) et de CO (5%). Compte tenu de son poids dans les émissions nationales, l'agriculture est appelée à contribuer à l'effort général de réduction des GES et à l'atteinte des objectifs fixés aux niveaux national et international. Il en est de même pour l'atteinte des objectifs en matière de qualité de l'air (respect des plafonds NH_3 et $PM_{2.5}$ en particulier).

Une des spécificités du secteur agricole est le caractère diffus des émissions et la complexité des processus qui rendent parfois difficile la quantification des émissions. Ces dernières sont donc associées à de fortes incertitudes. Les améliorations mises en place au fur et à mesure dans l'inventaire national permettent de quantifier avec une précision croissante les émissions, ce qui offre la possibilité de suivre les efforts d'atténuation entrepris par ce secteur.

Description du secteur

Panorama et enjeux

Gaz à effet de serre

Sources d'émissions

Les activités agricoles sont émettrices de gaz à effet de serre (GES). Elles produisent en particulier du méthane (CH_4) émis par la fermentation entérique chez les ruminants, la fermentation des lisiers et fumiers et la riziculture, et du protoxyde d'azote (N_2O) produit dans les sols par nitrification et dénitrification de l'azote réactif apporté notamment au travers de la fertilisation des terres agricoles. L'agriculture contribue ainsi aux émissions de GES, mais elle est aussi impactée par les changements climatiques (modifications des températures et précipitations).

En 2023, l'inventaire national des émissions françaises de GES attribue à l'agriculture 20% de ses émissions, soit 76 Mt CO_2e. Ces émissions se répartissent comme suit :

- Elevage (60%) ;
- Cultures (27%) ;
- Engins, moteurs et chaudières en agriculture et sylviculture (13%).

L'essentiel des émissions est constitué de méthane (CH_4 57%), **principalement lié à l'élevage, et de protoxyde d'azote** (N_2O 29%), **principalement lié à la fertilisation des cultures.** Les émissions de CO_2e du secteur agricole ont diminué de 18% entre 1990 et 2023 : cette baisse est principalement liée à la diminution de la taille du cheptel bovin (animaux moins nombreux mais plus productifs) et à la baisse de la fertilisation azotée des cultures. Sur les années récentes, on assiste à une pression à la hausse sur les prix des intrants agricoles (engrais, alimentation animale), qui s'explique par le contexte tendu sur les marchés de l'énergie et des matières premières importées (reprise post-Covid, guerre en Ukraine). Ce contexte explique les tendances d'émission récentes des engrais minéraux (recul des apports azotés, hausse de l'urée dans le mix).

En 2023, les émissions de GES des élevages sont en repli de 2% par rapport à 2022 avec la poursuite de la décapitalisation du cheptel bovin. Les émissions des cultures sont en hausse de 2% en lien principalement avec une hausse des émissions issues du retour au sol des résidus de récolte. Les pré-estimations d'émission de GES pour 2024 voient les tendances se poursuivre pour l'élevage, les mêmes phénomènes étant toujours à l'œuvre (décapitalisation du cheptel bovin), tandis que le recul des émissions des engrais minéraux devrait marquer un arrêt, avec une stabilisation des apports et une hausse des consommations d'urée.

Réduction des émissions et SNBC

Entre 2019 et 2023, les émissions de GES du secteur de l'agriculture diminuent à un rythme annuel moyen de - 1,7% / an et passent de 82 MtCO_2e à 76 MtCO_2e. Ces résultats sont en phase avec le budget 2019-2023 de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC-2). Les tranches annuelles indicatives de la SNBC-2 prévoient, en moyenne, pour l'agriculture, une baisse interannuelle des émissions de - 0,8% / an entre 2023 et 2033 pour atteindre des émissions annuelles à 71 Mt CO_2e. La SNBC-3 (provisoire) réhausse le niveau d'ambition correspondant à un repli annuel des émissions de GES compris entre - 1,2% et - 2,0%. Aussi, les émissions agricoles suivent depuis 2019 une trajectoire qui semble compatible avec le budget provisoire SNBC-3 pour 2029-2033 si les tendances se maintiennent.

Pour atteindre ce niveau de réduction la France mise sur la poursuite des actions liées au projet agroécologique, lancé en 2012 par le ministère de l'Agriculture. Ce projet incite les agriculteurs à produire autrement en repensant les systèmes de production, en optimisant les ressources et en développant l'agriculture de précision. Dans l'étude de l'Inrae *« Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques »* (Pellerin S. et al., 2013), les chercheurs s'accordent sur les marges de progrès importantes de l'agriculture pour participer à la diminution des émissions de GES. Ils identifient trois leviers majeurs : la réduction des émissions de N_2O et de CH_4, le stockage de carbone dans les sols et dans la biomasse (couverture des sols entre deux cultures, reconstitution des haies entre les champs, non retournement des prairies...), et la production d'énergie à partir de biomasse (biocarburants, biogaz) réduisant les émissions du territoire par effet de substitution à des énergies fossiles. Sur ces trois leviers, deux sont en fait surtout visibles dans d'autres secteurs de l'inventaire Secten, distincts du secteur agriculture et sylviculture. Le stockage de carbone dans les sols et la biomasse est couvert par le secteur UTCATF. Les réductions d'émission liées aux biocarburants sont surtout tangibles pour le secteur du transport routier.

Viennent également s'ajouter au niveau européen les nouvelles ambitions de la stratégie « De la ferme à la table » (*Farm to Fork*) présentée au sein du pacte vert pour l'Europe (European Green Deal), pour un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement. Cette stratégie souligne, entre autres, l'urgence de réduire l'emploi abusif d'engrais et de

développer l'agriculture biologique, deux axes impactant directement les émissions de GES du secteur. Plus récemment, la Commission européenne a dévoilé son nouveau paquet climat contenant 18 mesures permettant d'atteindre l'objectif réhaussé de réduction des émissions de GES de 55% en 2030 par rapport à 1990 (Fit for 55). Enfin, la mise en œuvre française de la nouvelle mouture de la Politique agricole commune 2023-27 (PAC) à travers le Plan stratégique national (PSN) a pour ambition de contribuer à l'atteinte des objectifs du pacte vert pour l'Europe à travers plusieurs instruments dont notamment l'écorégime. Le PSN de la France a été approuvé le 13 décembre 2023 par la Commission européenne.

Trajectoire de réduction du N_2O

Enfin, le décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 définit les trajectoires annuelles de réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) et d'ammoniac (NH_3) du secteur agricole entre 2022 et 2030. Ce nouveau décret a été pris en application de la loi climat et résilience. Pour le N_2O, les objectifs ont été définis en cohérence avec la SNBC-2 et en cohérence avec l'objectif général de neutralité carbone en 2050.

Qualité de l'air

Les activités agricoles sont des sources d'émissions de polluants atmosphériques en particulier de NH_3, de particules, et de COVNM. En 2023, le secteur a contribué à 96% des émissions d'ammoniac (NH_3), 41% des émissions de COVNM, 19% des émissions de PM_{10} et 6% des émissions de $PM_{2.5}$. Ces substances ont un impact sanitaire et environnemental important.

Pour pallier les problèmes liés à la qualité de l'air, ces polluants font l'objet de réglementations à l'échelle internationale, européenne, nationale, régionale ou infrarégionale. Au niveau européen, la directive (UE) 2016/2284, révisant la directive NEC (*National Emission Ceilings, voir chapitre Politique et réglementation*), fixe pour la France un objectif de réduction d'émissions de NH_3 de 4% en 2020 (respectivement 13% en 2030) et un objectif de réduction de 27% pour les $PM_{2,5}$ en 2020 (respectivement 57% en 2030) par rapport au niveau d'émissions de 2005. En 2023, les émissions totales de NH_3 sont estimées inférieures de 19% au niveau de 2005 ; et celles de $PM_{2,5}$ de 64% inférieures au niveau de 2005 : les objectifs sont bien respectés. Bien que le niveau d'émission de NH_3 en 2023 permette déjà de respecter l'objectif 2030, les efforts se poursuivent pour favoriser la mise en place des pratiques de réduction des émissions mentionnées dans le PRÉPA : utilisation d'engrais moins émissifs, utilisation de matériels d'épandage moins émissifs (pendillards, injecteurs, enfouissement post-épandage rapide), financement de projets pilotes et mobilisation des financements (exemple des projets AGR'AIR et AgriQair). Plus récemment, les objectifs 2022-2030 pour le NH_3 issus du décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 ont été définis en cohérence avec le PREPA, lui-même en cohérence avec les plafonds de la directive NEC-2.

Un accompagnement du secteur agricole est également prévu dans le plan pour la diffusion des bonnes pratiques avec, entre autres, la diffusion en 2019 d'un guide des bonnes pratiques agricoles[50] à destination des agriculteurs et des conseillers agricoles qui répertorie les bonnes pratiques connues comme étant les plus pertinentes pour réduire les émissions de polluants dans l'air.

Ajustements des émissions de COVNM pour les comparer aux objectifs de la NECD

Lors de la fixation des objectifs de réduction de NOx et de COVNM, il n'existait pas de méthodologie pour estimer les sources biotiques de ces polluants en agriculture. Ces émissions n'ont donc pas été incluses dans les plafonds à respecter. Ainsi, lors de la comparaison aux objectifs NEC, ces émissions sont retirées du total national par le biais de procédures d'ajustement pour que les résultats d'émissions soient comparables avec les plafonds.

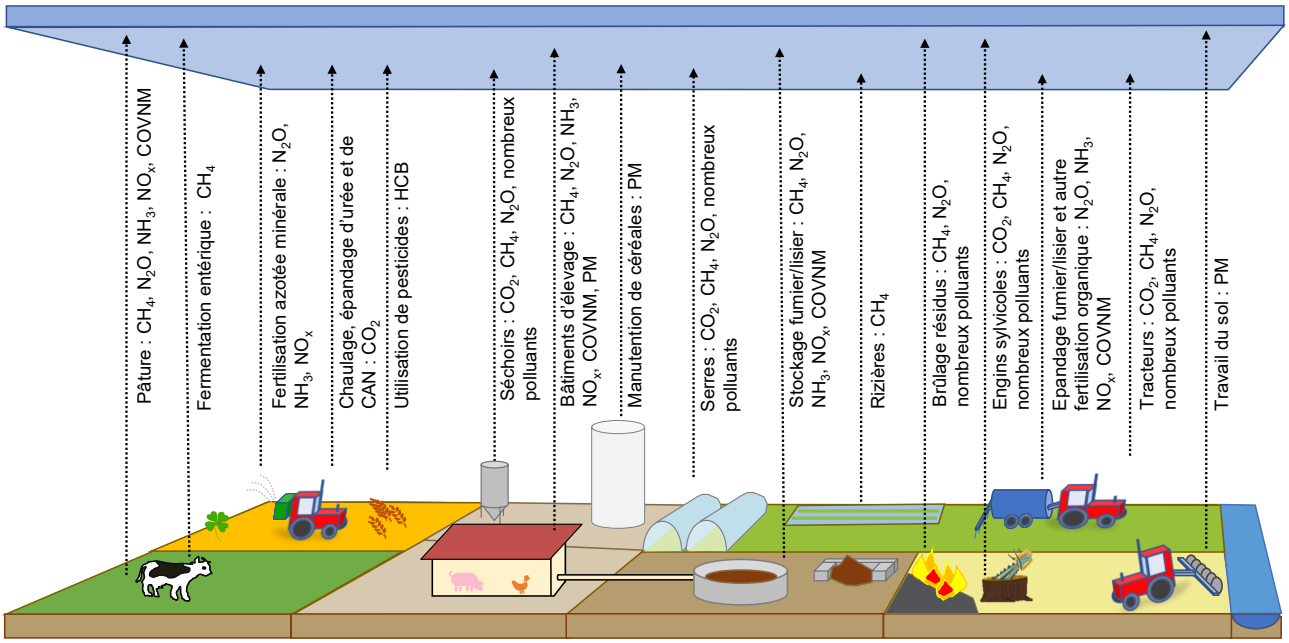
D'autres réglementations s'appliquent aux exploitations agricoles et encadrent les pratiques sur différents postes (gestion des effluents au bâtiment, au stockage, à l'épandage, chargement animal à la pâture...) en lien avec de nombreux enjeux environnementaux (qualité de l'eau, sols...) :

- La Directive 2010/75/UE dite « **Directive IED** » : pour réduire les émissions au niveau de l'exploitation, les meilleures techniques disponibles (MTD) doivent être appliquées depuis le 21 février 2021 pour les élevages intensifs de porcs (>2000 emplacements en porcs charcutiers ou >750 emplacements en truies), et les élevages intensifs de volailles (>40000 volailles). Cette directive est actuellement en cours de révision ;
- La Directive n° 91/676/CEE, dite « **Directive Nitrates** » : elle définit les grandes lignes de la politique de lutte contre la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole ;

[50] **ADEME. 2019.** Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air. Synthèse de l'étude. 7 pages.

- La législation des installations classées pour l'environnement (**ICPE**) : elle réglemente le fonctionnement de toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains (formalités de création, respect de la réglementation, prescriptions techniques de fonctionnement…)

Enfin, l'agriculture est aussi un secteur impacté, par la pollution de l'air. En particulier, la pollution par l'ozone a des effets au niveau de la qualité des productions et sur les rendements. L'Ineris estime une perte de 14% des rendements de blé en Europe en 2000 du fait de l'ozone, soit environ 3,2 milliards d'euros[51]. L'amélioration de la connaissance et de l'évaluation des effets de la pollution de l'air sur l'agriculture constitue un axe de recherche stratégique pour le secteur.



Postes d'émissions en agriculture (Citepa).

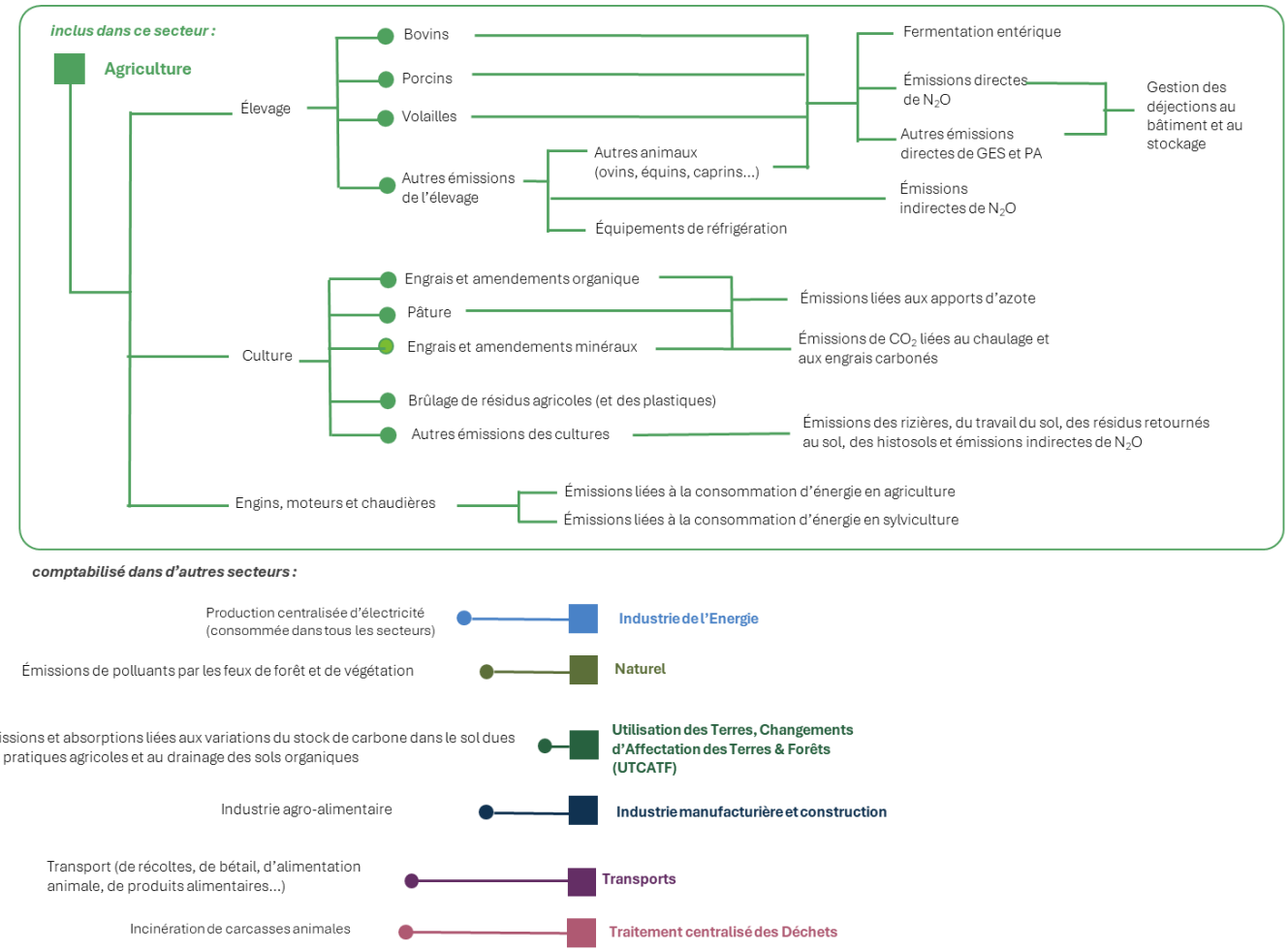
Émissions incluses dans ce secteur

Le secteur agriculture/sylviculture distingue les trois sous-secteurs suivants :

- **Élevage** : Émissions liées à la fermentation entérique des animaux d'élevage et à la gestion de leurs déjections au bâtiment et au stockage. Ces émissions sont présentées séparément pour les bovins, porcins, et volailles. La catégorie « Autres émissions » concerne les autres animaux ainsi que les émissions indirectes de N_2O (lessivage, redéposition) ;
- **Cultures** : Émissions des sols cultivés liées à la fertilisation azotée minérale et organique (engrais minéraux, boues, composts, déjections animales, digestats), aux déjections déposées à la pâture, à l'apport d'amendements basiques (calcaire, dolomie), d'urée et de pesticides, à la riziculture et au brûlage des résidus agricoles ;
- **Engins, moteurs et chaudières en agriculture et sylviculture** : Émissions liées à la combustion dans les engins, moteurs et chaudières des secteurs agricoles et sylvicoles.

Cette section ne concerne pas les questions relatives au carbone des sols et de la biomasse, qui sont traitées dans le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, leur Changement d'Affection, et la Forêt). Elle n'inclut pas non plus l'industrie agroalimentaire (comptabilisée dans le secteur industrie) ni les transports associés à l'agroalimentaire (comptabilisés dans le secteur transport). De même, les émissions liées à la production d'intrants (industries des engrais par exemple) ne sont pas incluses ici mais sont comptabilisées dans le secteur industrie. Enfin, les émissions liées à la production d'aliments importés (importation de soja à destination de l'alimentation animale par exemple) ne sont pas prises en compte dans l'inventaire français.

[51] Rapport de la commission d'enquête du Sénat sur le coût économique et financier de la pollution de l'air http://www.senat.fr/commission/enquete/cout_economique_et_financier_de_la_pollution_de_lair.html

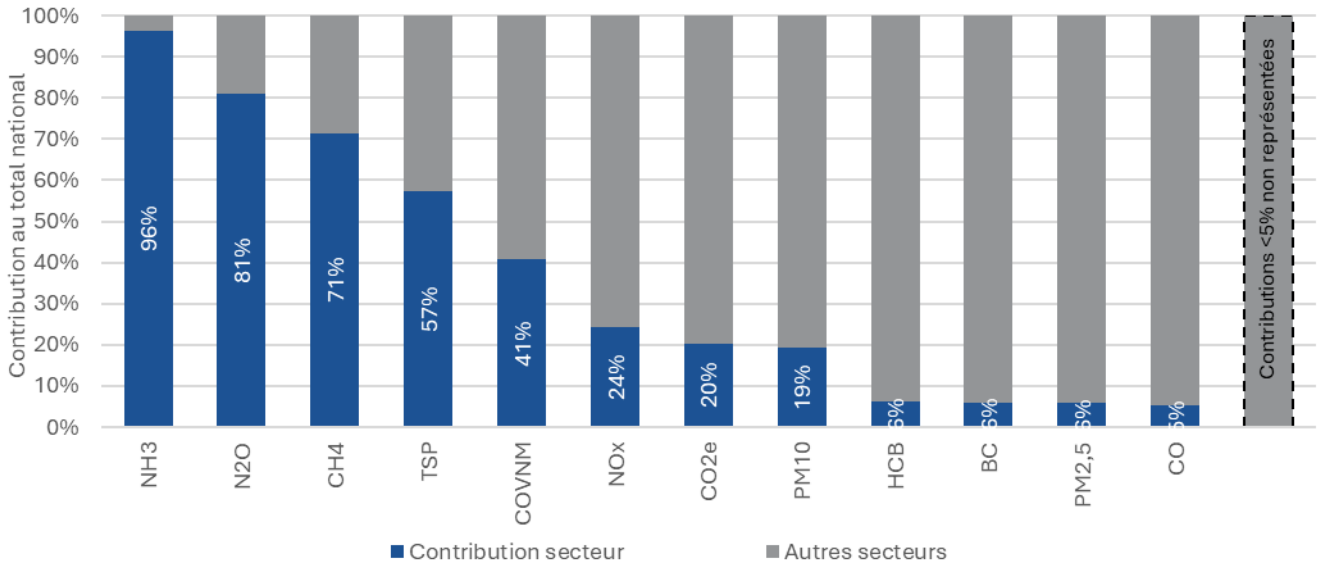


Différence entre l'inventaire d'émissions et les approches empreinte et ACV

Pour rappel, l'inventaire national d'émission se base sur les activités effectivement constatées sur le territoire pour calculer les émissions directes produites sur les exploitations françaises agricoles (atelier d'élevage, atelier de culture, consommation d'énergie dans les bâtiments). L'inventaire diffère des approches « Empreinte carbone » ou « Analyse en Cycle de Vie ». Ces dernières, conçues sur la base des produits agricoles, considèrent l'ensemble des étapes liées à la production d'un produit : depuis la fabrication des intrants (fertilisants, concentrés, électricité...) jusqu'à la commercialisation du produit fini (transport, réfrigération...).

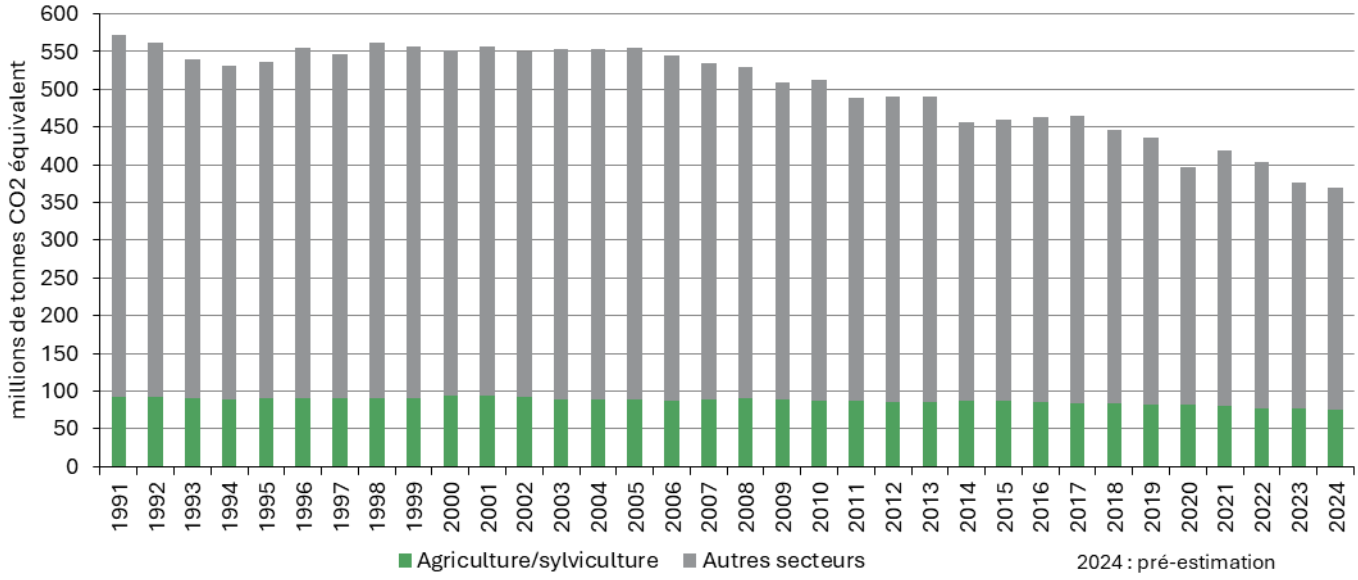
► Les résultats d'inventaire de secteur agricole présentés avec une approche par grande filière sont disponibles dans le **rapport Floréal** du Citepa.

Principales substances émises par le secteur



Substances pour lesquelles le secteur de l'Agriculture contribue pour au moins 5% aux émissions en 2023

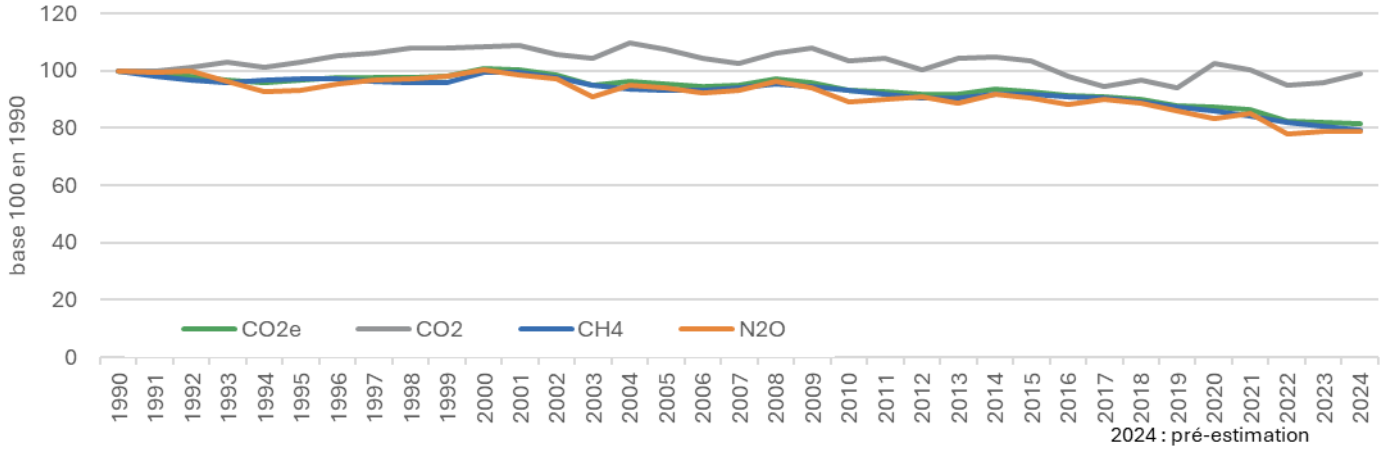
Émissions de gaz à effet de serre



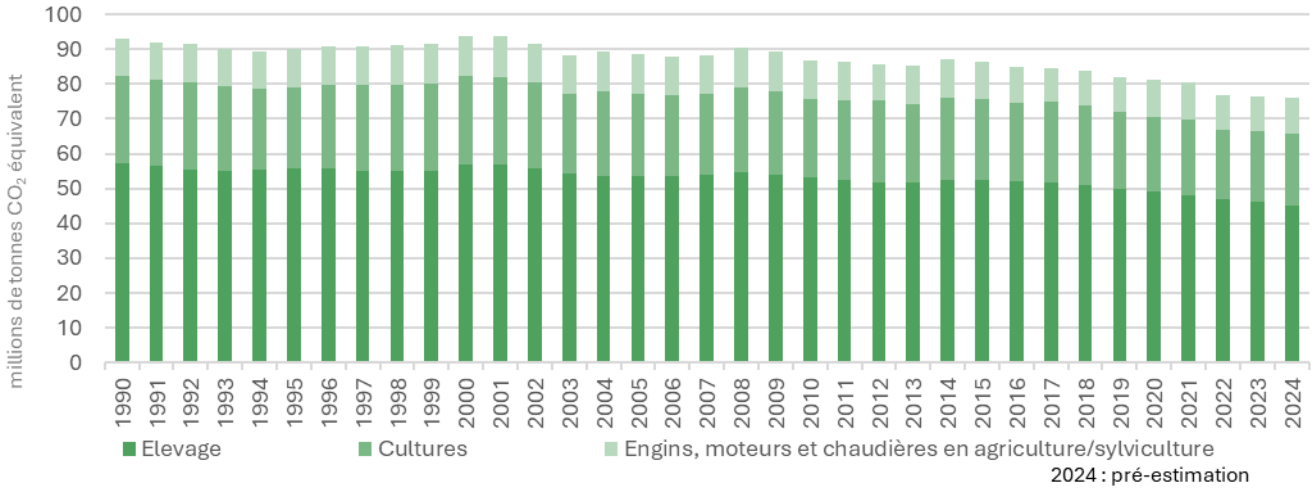
Contribution du secteur aux émissions totales de GES de la France

Vue d'ensemble

Entre 1990 et 2023, les émissions cumulées de tous les GES (hors CO_2 biomasse) du secteur agricole ont diminué de 18%. Cependant, la contribution de ce secteur aux émissions totales de CO_2e en France métropolitaine a légèrement augmenté sur la période : il était responsable de 17% des émissions en 1990, contre 20% en 2023. Les deux sous-secteurs culture et élevage ont connu une évolution à peu près semblable sur la période et contribuent de façon différenciée à ces émissions (respectivement 27% et 60%), l'un principalement du fait du N_2O, l'autre du fait du CH_4. La part des émissions liées à la consommation énergétique des tracteurs, engins et chaudières agricoles est pratiquement stable sur la période (entre 11% et 13%).

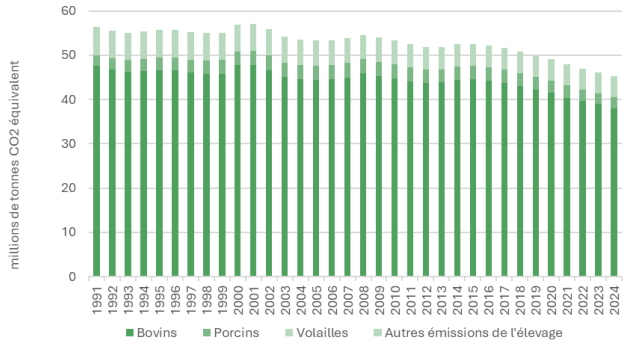


Tendance d'évolution des émissions de GES de l'Agriculture

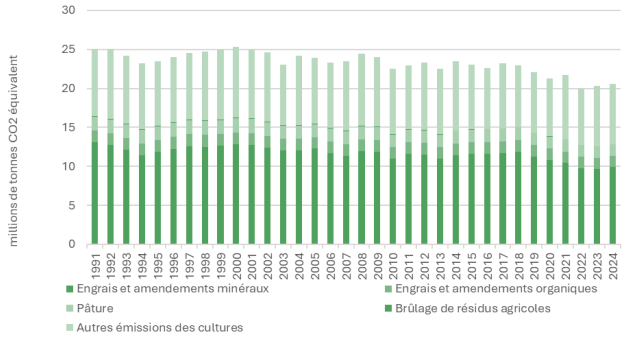


Répartition des émissions de CO_2e du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole et Outre-mer UE)

(a) Elevage



(b) Cultures



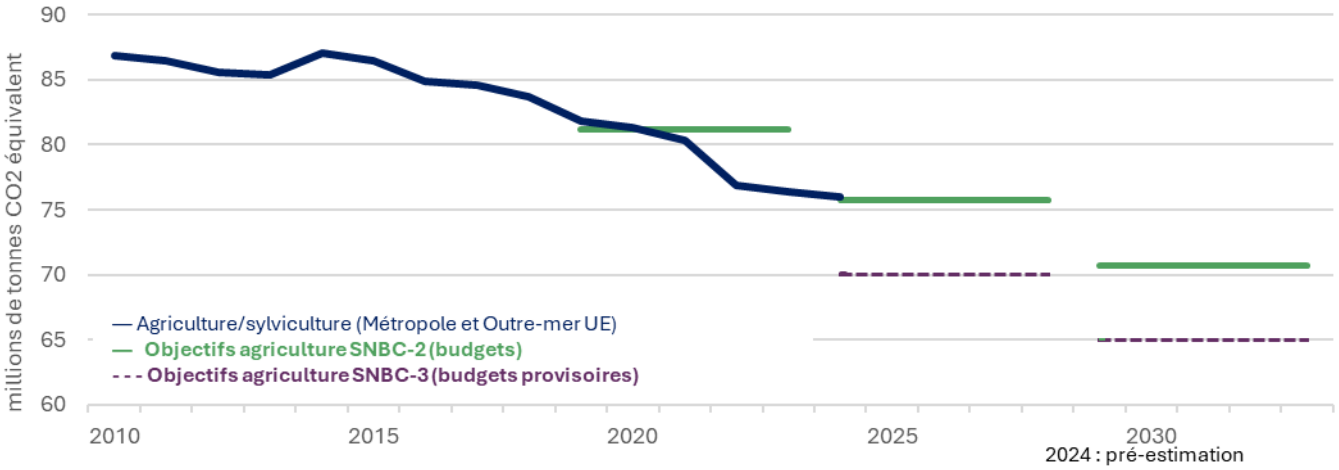
Répartition des émissions de CO_2e des sous-secteurs (a) élevage et (b) cultures en France (Métropole et Outre-mer UE)
A noter : sur le graphique élevage, les émissions de CO2e des volailles sont représentées en vert clair au-dessus de celles des porcins (différentes des émissions « autres » qui regroupent les autres animaux ainsi que les émissions indirectes de N2O).

Objectifs SNBC

La SNBC révisée en 2018-2019 vise à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 tous secteurs confondus. Pour l'agriculture, la stratégie vise à réduire les émissions de 18% en 2030 par rapport à 2015, puis de 46% en 2050. En termes de rythme de réduction, cela suppose une accélération par rapport au passé : - 1,4% par an environ seront nécessaires sur la période 2020-

2030 en comparaison des - 0,7% par an observés sur la période 2010-2020.

Le budget carbone ajusté[52] pour ce secteur dans la SNBC- 2 couvrant la période 2019-2023, de 81,2 $MtCO_2e$/an, est au-dessus du niveau moyen observé de 79,3 $MtCO_2e$/an sur la période. A horizon 2030, ce secteur doit atteindre 70,7 $MtCO_2e$ d'après la SNBC-2 ajustée soit une réduction attendue de 1,1% par an. La SNBC-3 provisoire renforce cet objectif (65 $MtCO_2e$ méthodologie Secten 2024).



Émissions de GES du secteur et objectifs

Leviers de réduction

Les émissions pourraient être réduites par une optimisation des pratiques agricoles mais ces émissions restent liées à des mécanismes difficiles à contenir : les émissions de N_2O sont liées à la chimie et la biologie des sols et les émissions de CH_4 sont liées à la fermentation microbienne au sein des effluents d'élevage et au sein du rumen des ruminants laquelle est nécessaire à leur bonne santé. La SNBC promeut le développement de l'agroécologie (dont l'agriculture biologique) et l'agriculture de précision. Pour les émissions de N_2O, les leviers résident dans la diminution de l'apport d'azote aux cultures, la diminution des excédents d'apports protéiques dans les rations animales et dans le développement de l'autonomie en protéines végétales.

Pour les émissions de CH_4, les principales techniques envisagées pour respecter la trajectoire sont l'amélioration de la gestion des effluents d'élevage, l'optimisation de la conduite des troupeaux et la limitation de la fermentation entérique via des ajustements de l'alimentation animale (apport de lin par exemple), ou la sélection génétique.

Concernant les émissions énergétiques, la SNBC montre un objectif de division par deux de la consommation d'énergie fossile d'ici 2050 : cela passe par le développement des énergies renouvelables, jusqu'à une décarbonation complète de l'énergie consommée par le secteur en 2050.

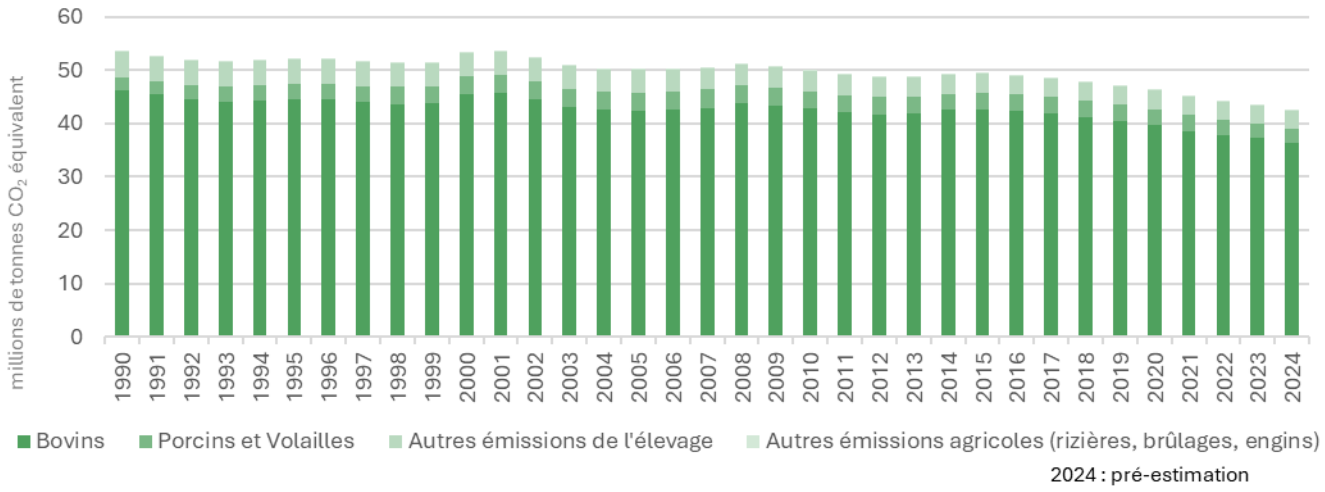
Analyse détaillée par gaz à effet de serre

CH_4 | Méthane

Sources d'émissions

Le CH_4 est un produit de la fermentation (processus métabolique des populations microbiennes en milieu anaérobie). Cette fermentation a lieu au sein même du système digestif des animaux, on parle alors de fermentation entérique, dans les litières des bâtiments d'élevage, dans les zones de stockage des déjections et dans les zones inondées (rizières).

[52] Le Code de l'environnement (Article D. 222-1-B) prévoit la réalisation d'un ajustement technique des budgets carbone pour chaque période si les changements de méthodologie des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre conduisent à des modifications de plus de 1% des valeurs des années de référence ayant servi pour les scénarios de la SNBC (1990, 2005 et 2015). Ces ajustements « techniques » ont vocation à conserver la cohérence de la trajectoire initialement retenue, en maintenant les mêmes réductions sectorielles et par gaz en « valeur relative » par rapport à l'année 2005. Le code prévoit que cet ajustement technique ait lieu au moment de la clôture du budget carbone. Cet ajustement a été opéré en 2025 sur la base des données d'inventaires consolidées pour l'année 2023 (Secten 2025).

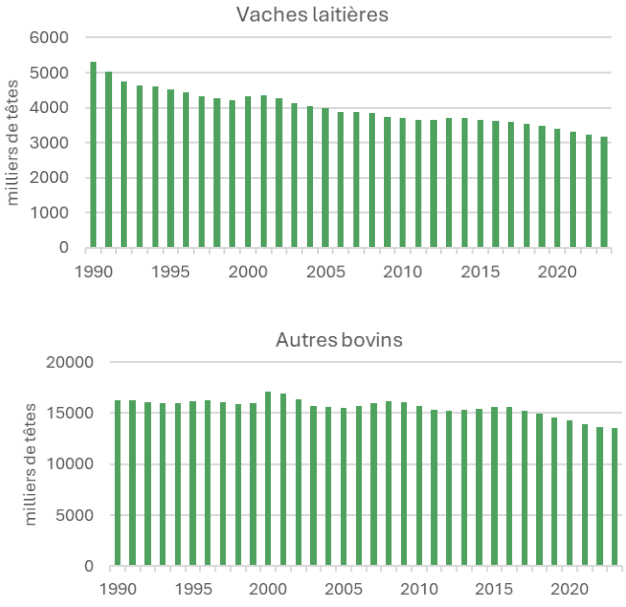


Répartition des émissions de CH_4 du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole et Outre-mer UE)

Le cas de la fermentation entérique

La principale source d'émissions de CH_4 est l'élevage (fermentation entérique et gestion des déjections animales), le solde correspondant aux émissions des rizières, du brûlage de résidus et des engins agricoles.

Entre 1990 et 2023, ces émissions ont diminué (- 19%) du fait notamment de la baisse du cheptel des vaches laitières (- 2,1 millions de vaches laitières soit - 40%). En revanche, les émissions (de même que la production laitière) ne baissent pas dans les mêmes proportions, car cette baisse du cheptel a été compensée par un troupeau de plus en plus performant, émettant en moyenne plus de CH_4 par tête au fil du temps. Ainsi, les émissions de CH_4 de la fermentation entérique des vaches laitières ont baissé d'environ 4,9 Mt CO_2e soit - 27% sur la période. La suppression des quotas laitiers en 2015 n'a eu qu'un effet conjoncturel de rétention des vaches par les éleveurs sur les 2 années qui l'ont précédée.



Évolution des cheptels bovins (vaches laitières et autres) (périmètre Métropole et Outre-Mer inclus dans l'UE)

Pour le reste du cheptel bovin, les effectifs diminuent également sur la période (17%) induisant une baisse des émissions pour la fermentation entérique (3,4 MtCO_2e soit 14%).

Inversement, d'autres tendances comme l'augmentation des systèmes de gestion des déjections sous forme de lisier contribuent à une hausse des émissions de CH_4.

Techniques de réduction

Peu de techniques permettent une réduction des émissions de CH_4. La principale méthode répertoriée est la méthanisation des effluents d'élevage. La méthanisation des déjections permet de récupérer le CH_4 émis pour le valoriser énergétiquement. Le développement de cette pratique permet de réduire les émissions imputées au secteur agricole et constitue le principal levier évoqué pour baisser les émissions de CH_4 de l'agriculture dans les politiques actuelles (Plan Energie Méthanisation Autonomie Azote – EMAA, SNBC).

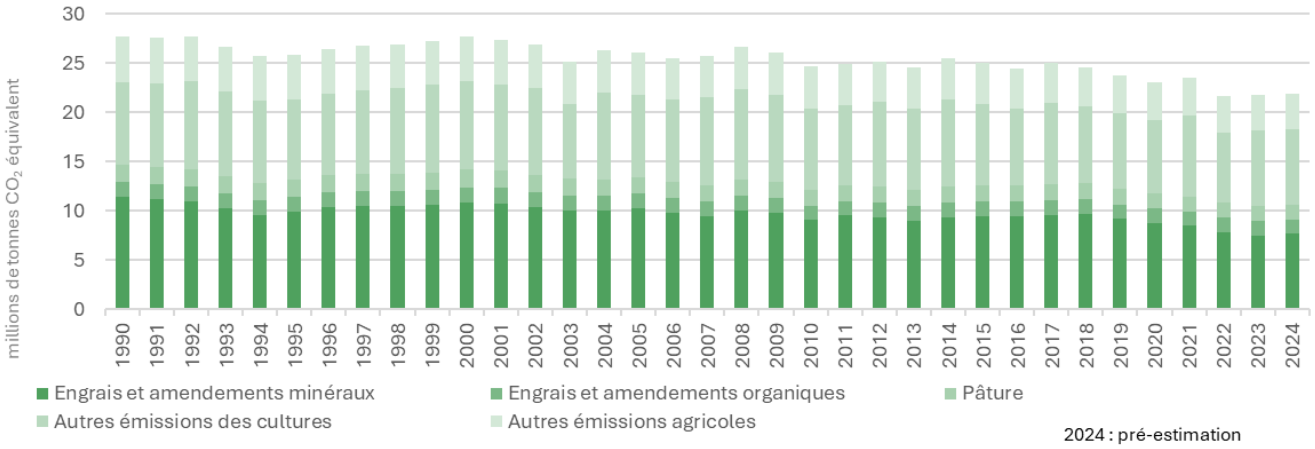
Actuellement dans l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre publié par le Citepa, la méthanisation des déjections animales est prise en compte en tant que technique de réduction des émissions de méthane (CH_4) : les tonnages de déjections méthanisées, centralisées ou à la ferme, sont estimés en croisant plusieurs données (base SINOE, ADEME, données de constructeurs, observatoires régionaux…) et les émissions réduites grâce à la méthanisation sont calculées au niveau de la gestion des déjections pour le cheptel bovin et porcin uniquement. Il faut noter que les demandes de construction de nouvelles unités de méthanisation sont en croissance forte. En 2023, on dénombre 1428 méthaniseurs agricoles (à la ferme ou collectifs).

N_2O | Protoxyde d'azote

Sources d'émissions

L'agriculture contribue majoritairement aux émissions nationales de N_2O (81%). Ces émissions sont principalement liées aux cultures, en particulier du fait de l'épandage de fertilisants azotés minéraux et organiques. Les émissions directes de N_2O sont produites lors des réactions de nitrification-dénitrification, par les bactéries présentes dans le sol et dans les effluents d'élevage. D'autres émissions, dites « indirectes », ont également lieu, soit après lixiviation du NO_3- dans le sol puis dénitrification ; soit après volatilisation de NH_3, redéposition puis nitrification/dénitrification.

La baisse des émissions constatée sur toute la période 1990-2023 (-5,9 $MtCO_2e$ soit – 21%) s'explique par une moindre utilisation de fertilisants azotés minéraux et une diminution du cheptel bovin engendrant une réduction à la fois de l'azote excrété à la pâture et de l'azote organique à épandre.



Répartition des émissions de N2O du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole et Outre-mer UE)

Techniques de réduction

Peu de solutions techniques sont actuellement disponibles pour limiter les émissions de N_2O des sols, qui sont très dépendantes des conditions pédoclimatiques (les plus fortes émissions ayant lieu après les épandages d'azote et après des épisodes pluvieux) : la variabilité interannuelle des émissions est par conséquent très forte.

L'optimisation de la fertilisation azotée en lien avec les préconisations d'apports adaptés aux besoins des cultures est déjà bien avancée et il est donc aujourd'hui difficile de prévoir une réduction forte de la fertilisation azotée dans les années futures. Le développement de sélections variétales adaptées à un bas niveau d'intrants ou encore l'amélioration des conditions du sol pour diminuer les émissions de N_2O (pH, par exemple, effet du chaulage) sont des pistes en phase d'expérimentation actuellement.

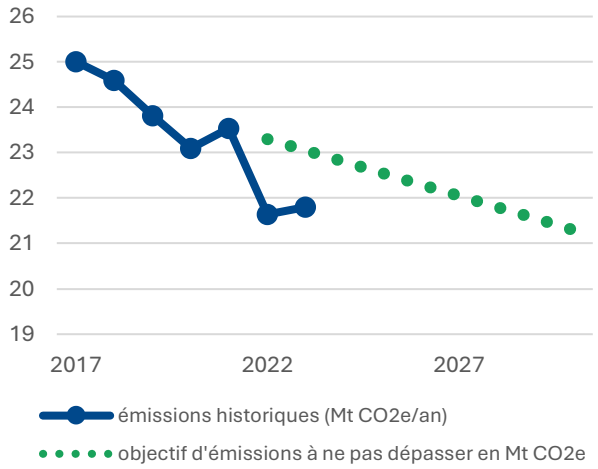
Le chaulage des sols acides est également une pratique intéressante de réduction des émissions, toutefois non comptabilisée dans l'inventaire en l'absence de données spécifiques pour l'évaluer.

Respect de la trajectoire de réduction

Le décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 définit les trajectoires annuelles de réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) et d'ammoniac (NH_3) du secteur agricole entre 2022 et 2030.

Ce nouveau décret a été pris en application de la loi climat et résilience. Pour le N_2O, les objectifs ont été définis en cohérence avec la SNBC-2 et en cohérence avec l'objectif général de neutralité carbone en 2050.

Les émissions de N_2O respectent pour l'instant cette trajectoire de réduction, leur niveau en 2023 étant inférieur de 1,3 Mt CO_2e au plafond.



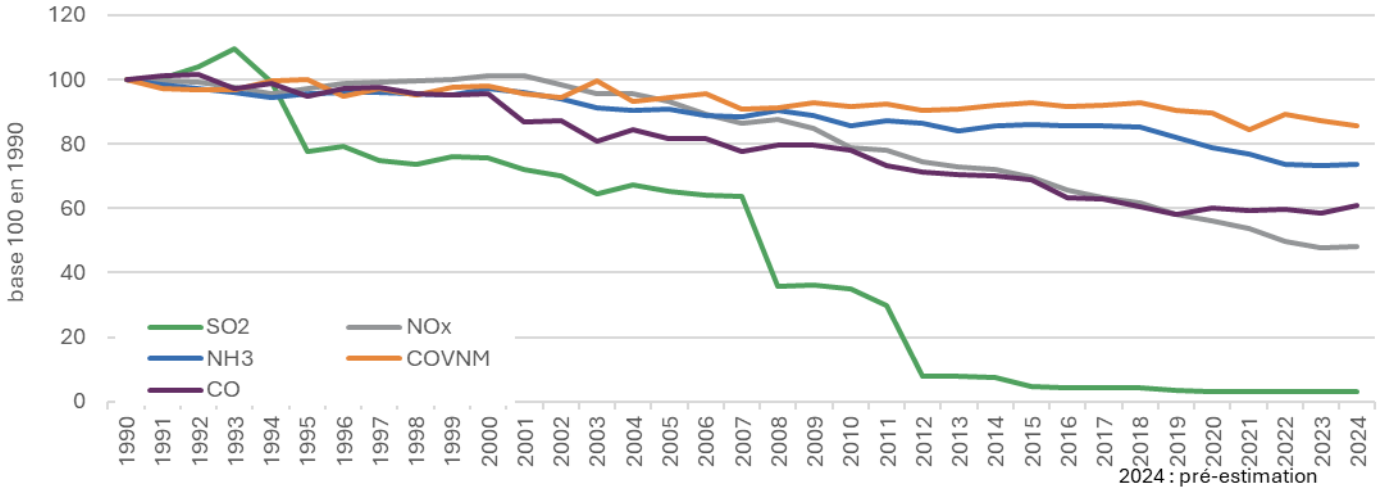
Emissions de N_2O agricoles et objectifs nationaux de réduction

Protoxyde d'azote (N2O)	2015	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
émissions historiques (Mt CO2e/an)	25	21	21							
objectif de réduction en % par rapport à 2015		7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
objectif d'émissions à ne pas dépasser en Mt CO2e		23,0	22,7	22,5	22,3	22,0	21,8	21,5	21,3	21,0

Emissions de N_2O agricoles et objectifs nationaux de réduction. Source : décret n°2022-1654, article 3 et Citepa, rapport Secten éd. 2025.

Émissions de polluants atmosphériques

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique (AEPP)



Évolution relative des émissions d'AEPP du secteur de l'agriculture en France (Métropole) (base 100 en 1990)

SO_2 | Dioxyde de soufre

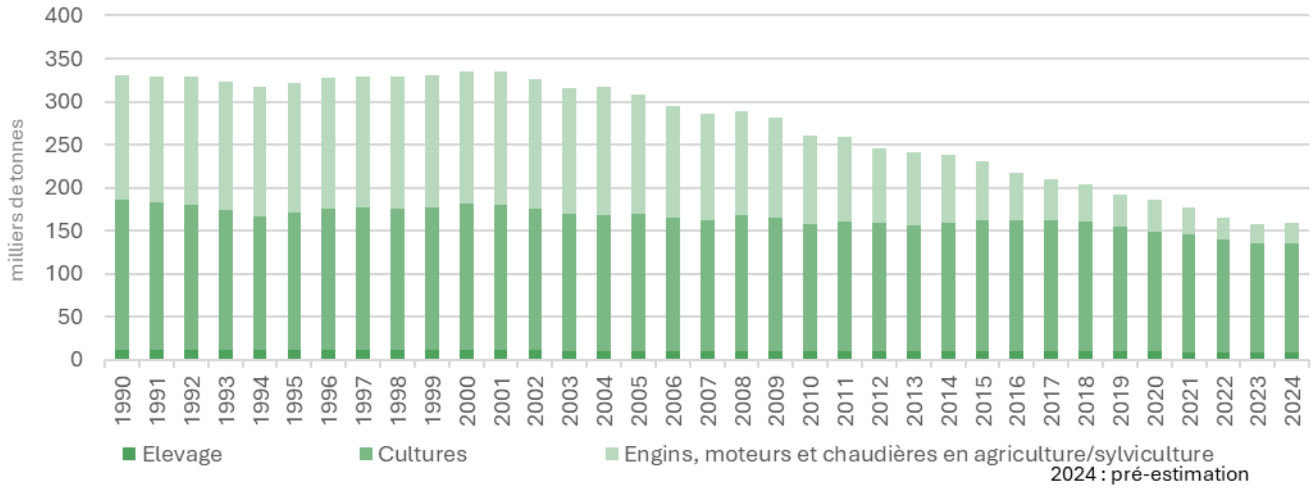
Les émissions de SO_2 du secteur agriculture/sylviculture proviennent de la combustion, elles ont quasiment disparu entre 1990 et 2023. La forte baisse observée depuis 2011 s'explique par l'obligation de consommer du gazole non routier moins soufré en remplacement du fioul domestique.

NO_X | Oxydes d'azote

Une partie des émissions de NOx du secteur agriculture/sylviculture est générée par les moteurs des engins. La diminution des émissions de NOx depuis 1990 (- 50%) est à mettre en lien avec le renouvellement du parc de tracteurs (- 84% d'émissions sur la période 1990-2023).

Se retrouvent dans la catégorie cultures les émissions de NOx des sols agricoles, issues des processus de nitrification qui y ont lieu après des apports d'azote. La

baisse constatée sur la période s'explique principalement par une baisse de l'azote minéral apporté. Une faible part des émissions de NOx provient du brûlage de résidus agricoles. Le brûlage de résidus agricoles est une pratique interdite en France, sauf dans le cas de dérogations préfectorales pour des raisons sanitaires. Les émissions de ce poste ont diminué de 76% entre 1990 et 2023. Environ 80% des émissions de NOx proviennent du brûlage des sarments de vigne dont l'activité peut être autorisée à titre dérogatoire selon la période de l'année et sous certaines conditions selon les préfectures. En particulier : des restrictions peuvent être émises en cas de pic de pollution. Enfin, les émissions associées au poste gestion des déjections diminuent sur la période, principalement en lien avec la baisse du cheptel bovin.



Répartition des émissions de NOx du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole)

Rappel : comme mentionné plus haut, lors de la fixation des objectifs de réduction de NOx, il n'existait pas de méthodologie pour estimer les sources biotiques en agriculture. Ces émissions n'ont donc pas été incluses dans les plafonds à respecter. Ainsi, lors de la comparaison aux objectifs NEC, ces émissions issues des cultures (exception faite du brûlage) et de l'élevage sont retirées du total national par le biais de procédures d'ajustement pour que les résultats d'émissions soient comparables avec les plafonds.

NH_3 | Ammoniac

Sources d'émissions

Aujourd'hui, l'ammoniac est un polluant presque exclusivement d'origine agricole en France : 96% des émissions nationales en 2023 sont issues de sources agricoles. Le secteur agricole a vu ses émissions baisser de 27% sur la période 1990-2023.

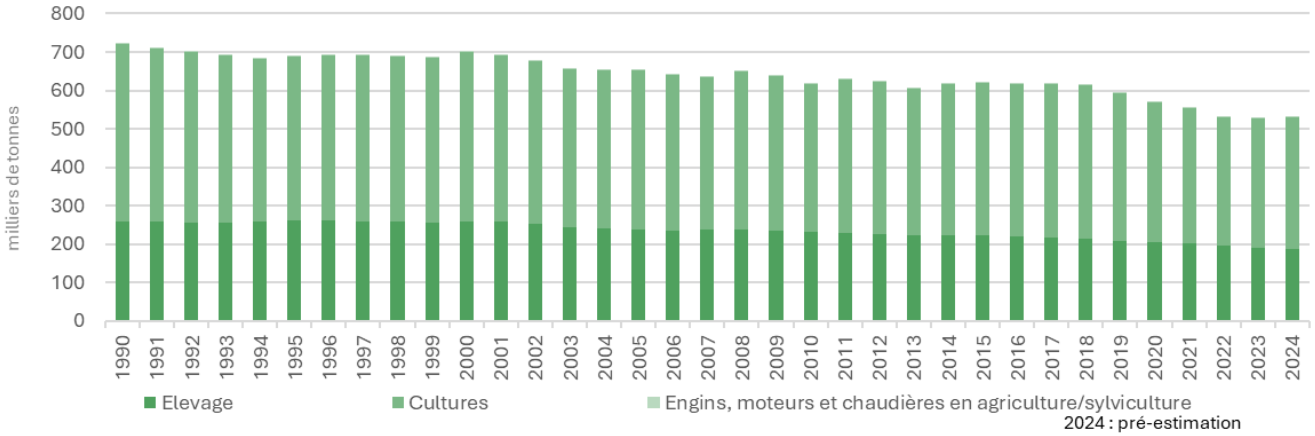
Les émissions incluses dans le poste cultures (voir plus haut pour la définition des sources) représentent 64% des émissions agricoles de NH_3 en 2023.

Tendance

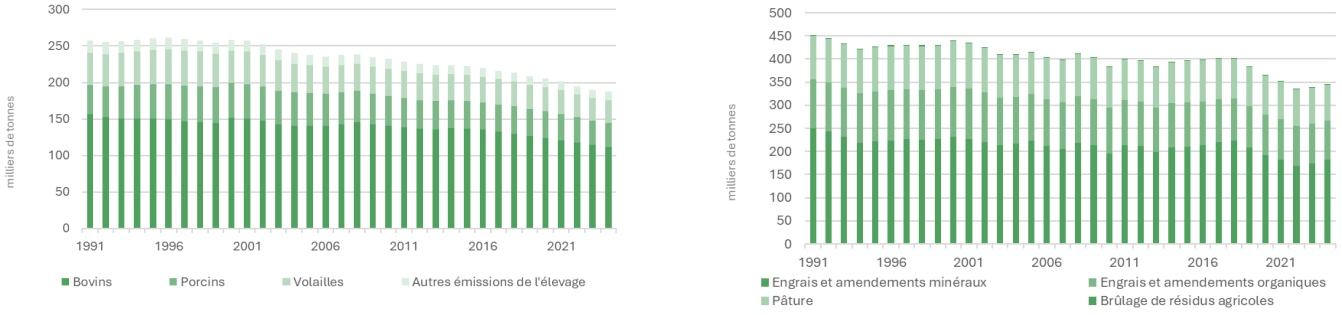
Pour ces émissions des cultures, on constate une légère augmentation sur la période 2013-2018 du fait d'un usage en hausse des formes d'engrais émettrices (urée) au détriment d'autres formes azotées moins émettrices (ammonitrates). Cette tendance s'est inversée à partir de 2018, avec un recul des émissions liées à la fertilisation minérale, s'expliquant à la fois par une diminution des apports totaux et du recours à l'urée ainsi que par le développement de bonnes pratiques comme l'enfouissement rapide des engrais. Démarrée dès la fin d'année 2020, la hausse des prix des engrais s'est accélérée en 2022, avec la plus forte hausse enregistrée depuis 20 ans. Cette hausse, d'abord en lien avec la reprise post-covid, s'explique désormais principalement par la guerre en Ukraine. L'année 2023 voit les émissions de NH_3 repartir à la hausse pour ce poste, en lien avec une hausse de la part de l'urée dans le mix malgré une baisse des apports totaux. Les émissions liées à la fertilisation organique et aux animaux à la pâture sont en baisse sur la période, en lien avec le recul des cheptels.

Les émissions liées à la gestion des déjections animales au bâtiment et au stockage représentent 36% des émissions agricoles de NH_3 en 2023. La majeure partie de ces émissions est à imputer au cheptel bovin (61%), suivi des cheptels porcins (18%) et volailles (16%). Les émissions de NH_3 de l'élevage ont globalement diminué depuis 1990 (- 29%), du fait de l'érosion du cheptel bovin. Cependant, des réductions notables se retrouvent également chez les porcins, du fait de la progression de l'alimentation biphase et du traitement des effluents par nitrification-dénitrification, et enfin au niveau des volailles, avec la disparition progressive des systèmes en fosse profonde chez les poules pondeuses (systèmes très émetteurs) et l'ajustement de l'alimentation aux besoins en azote des volailles.

Les pré-estimations d'émission de NH_3 pour 2024 anticipent une légère hausse par rapport à 2023 (+ 0,8%) avec la poursuite de la reprise des émissions de NH_3 des engrais minéraux (+ 5,0%) en lien avec une hausse des apports annuels et un usage plus important d'urée. Cette reprise est partiellement compensée en termes d'émission par un maintien des tendances à la baisse sur les émissions de l'élevage et des épandages organiques.



Répartition des émissions de NH_3 du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole)



Répartition des émissions de NH3 des sous-secteurs élevage (à gauche) et cultures (à droite) en France (Métropole)

Répartition des formes d'engrais minéraux azotés en France (Métropole)

Leviers de réduction

La profession agricole entreprend des efforts de réduction des émissions de NH_3. Des progrès ont déjà été accomplis par le secteur, par exemple au niveau de l'alimentation animale avec l'ajustement des apports protéiques dans les rations, au niveau du bâtiment avec la mise en place de laveurs d'air, au niveau du stockage

par la couverture de fosses et au niveau de l'épandage avec l'utilisation de matériels moins émissifs.

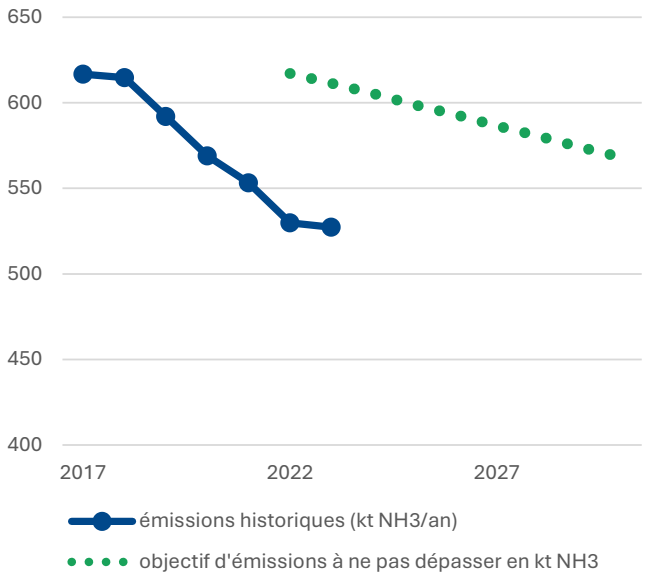
Différentes actions sont mentionnées pour le secteur dans le PRÉPA : utilisation de formes d'engrais moins émissives, recours à du matériel d'épandage moins émissif (pendillards, injecteurs, enfouissement post-épandage rapide), contrôle de l'interdiction des épandages aériens, financement de projets pilotes et mobilisation des financements (exemple des projets AGR'AIR, AgriQair). Un accompagnement du secteur agricole est également prévu dans le plan pour la diffusion des bonnes pratiques avec, entre autres, la diffusion en 2019 d'un guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air composé de 14 fiches pratiques à destination des agriculteurs et des conseillers agricoles

A noter que selon les techniques mises en place, les coûts associés peuvent être très importants. De tels investissements peuvent à l'heure actuelle être soutenus par le biais de plans de compétitivité et d'adaptation des exploitations agricoles (PCAE).

Respect de la trajectoire de réduction

Le décret n° 2022-1654 du 26 décembre 2022 définit les trajectoires annuelles de réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) et d'ammoniac (NH_3) du secteur agricole entre 2022 et 2030. Ce nouveau décret a été pris en application de la loi climat et résilience. Pour le NH_3, les objectifs ont été définis en cohérence avec le PRÉPA, lui-même en cohérence avec les plafonds de la directive NEC-2.

Les émissions annuelles de NH_3 du secteur respectent pour l'instant cette trajectoire de réduction, avec un niveau à 527 kt NH3 en 2023, en deçà de l'objectif de 611 kt prévu pour cette année-là.

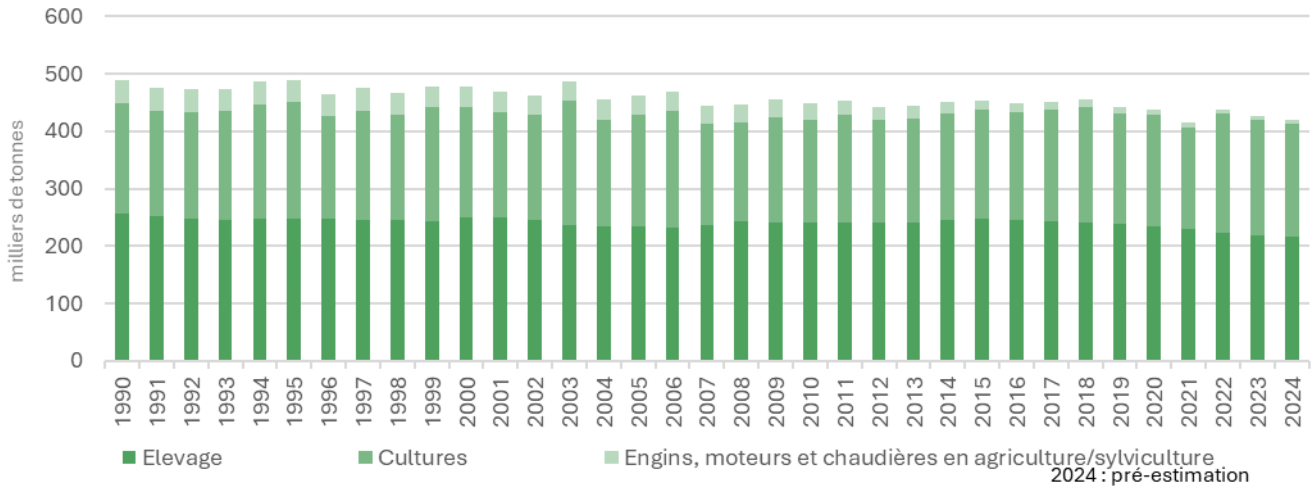


Emissions de NH_3 agricoles et objectifs nationaux

COVNM | Composés organiques volatils

Les émissions de COVNM agricoles proviennent principalement de la gestion du fumier, des entrepôts d'ensilage (fermentation des fourrages), mais aussi du fonctionnement biologique des cultures (émissions attirant les insectes pollinisateurs par exemple). En 2023, les émissions de COVNM sont équitablement réparties entre les postes élevage et cultures. Au sein de la catégorie cultures, le poste brûlage ne contribue qu'à la marge.

Sur la période 1990-2023, ces émissions ont diminué (- 13%) du fait d'une baisse sur le poste élevage (- 14%), qui s'explique majoritairement par le recul du cheptel bovin et d'un recul du poste engins, moteurs et chaudières (- 85%). Pour le poste cultures, on constate une hausse des émissions (+ 4%) en lien avec le fonctionnement biologique des cultures, les autres postes (engrais organiques et pâture) étant globalement à la baisse, toujours principalement en lien avec la baisse du cheptel bovin. Les émissions liées au fonctionnement biologique des cultures sont dépendantes des températures annuelles : les niveaux d'émission plus élevés s'expliquent généralement par des températures plus élevées ces années-là.



Répartition des émissions de COVNM du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole)

Ajustements des émissions de COVNM pour la comparaison aux objectifs de la NECD

Comme mentionné plus haut, lors de la fixation des objectifs de réduction de COVNM, il n'existait pas de méthodologie pour estimer les sources biotiques en agriculture. Ces émissions n'ont donc pas été incluses dans les plafonds à respecter. Ainsi, lors de la comparaison aux objectifs NEC, ces émissions issues des cultures (exception faite du brûlage) et de l'élevage sont retirées du total national par le biais de procédures d'ajustement pour que les résultats d'émissions soient comparables avec les plafonds.

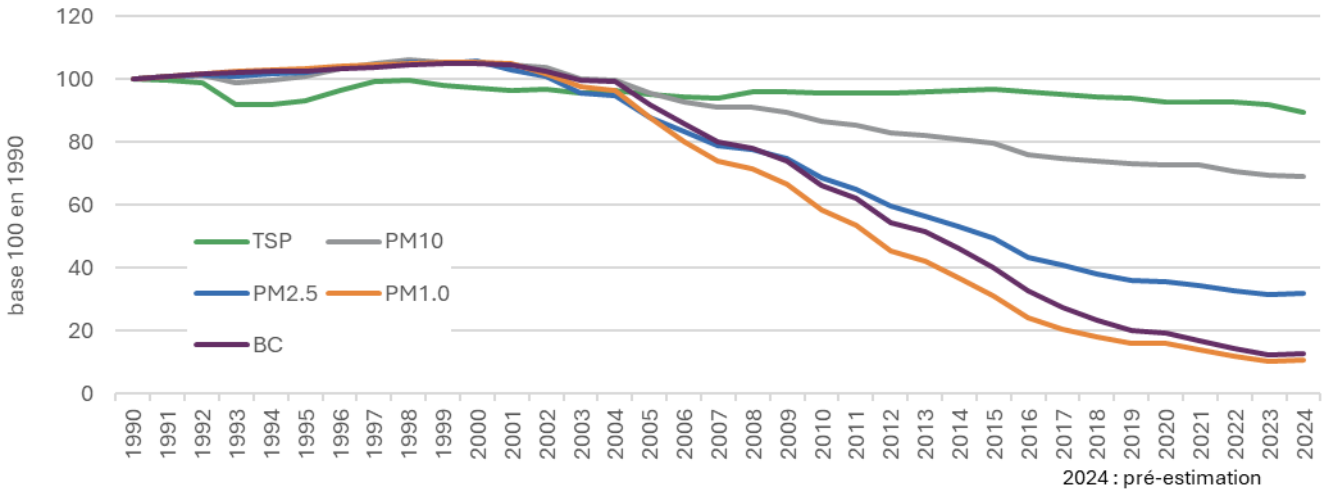
CO | Monoxyde de carbone

Les émissions de CO proviennent des phénomènes de combustion, que ce soit lors du brûlage de résidus ou pour la consommation d'énergie en agriculture. On constate sur la période 1990-2023 une baisse de 80% des émissions liées au brûlage des résidus agricoles et de 13% pour les émissions liées aux consommations dans les engins, moteurs et chaudières.

PM | Particules

Sources d'émissions

L'importance de la contribution du secteur agriculture/sylviculture aux émissions de particules décroît d'autant plus que la granulométrie considérée est fine. En effet, les travaux agricoles émettent généralement des particules à plus gros diamètre. En 2023, le secteur agricole contribue à 57% des émissions nationales de TSP, 19% des émissions nationales de PM_{10} et 6% des émissions nationales de $PM_{2,5}$.



Tendance des émissions de particules en Agriculture

TSP | Particules totales en suspension

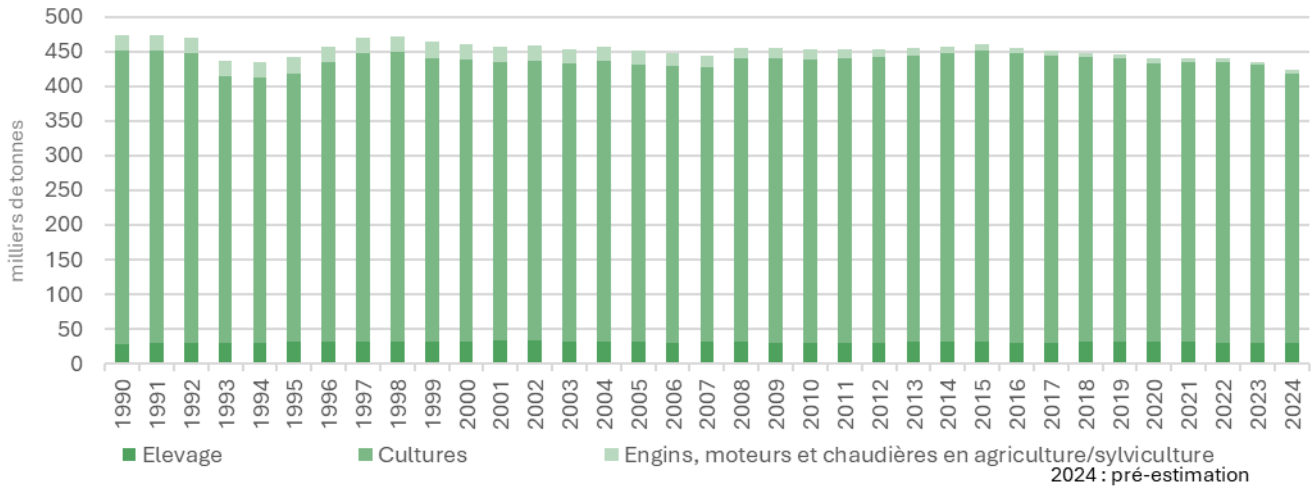
Sources

La majeure partie des émissions de particules totales en suspension (TSP) primaires de la France métropolitaine provient des activités liées aux cultures (labours, moissons), à hauteur de 92%. Vient ensuite la gestion des animaux en bâtiment, pour laquelle les émissions de particules dépendent principalement de l'activité des animaux, du type d'aliment distribué, du type de litière et du système de ventilation. C'est le cheptel volailles qui est responsable de la majorité des émissions en élevage : en 2023, 56% des émissions de TSP (respectivement 71% des PM_{10}) en élevage sont liées aux bâtiments volailles.

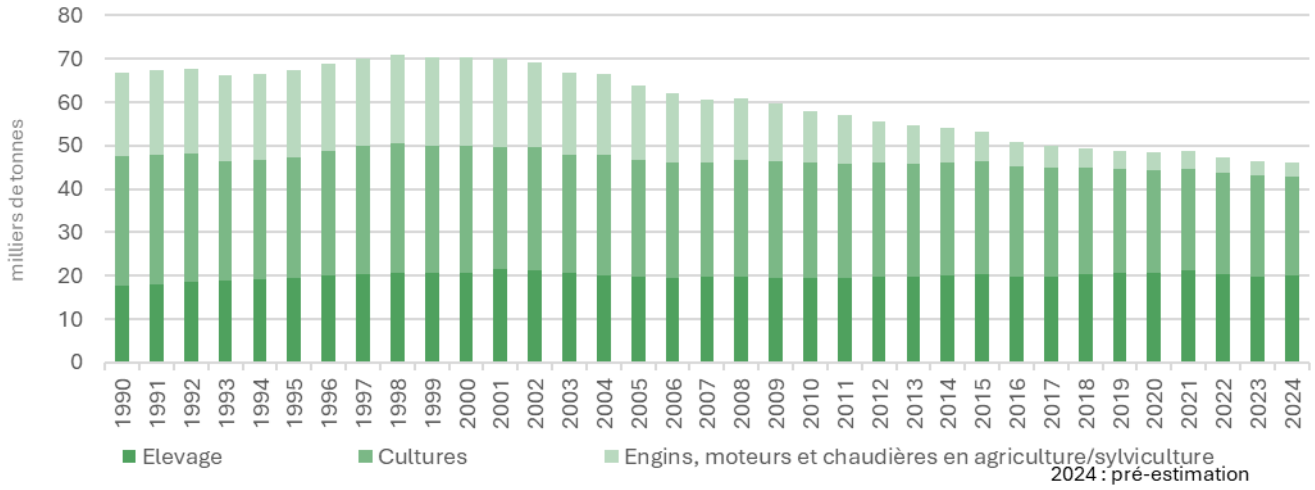
Entre 1990 et 2023, les émissions de particules totales en suspension du secteur agriculture/sylviculture ont globalement diminué (- 8%) du fait de légères réductions des surfaces agricoles et de l'amélioration du parc des tracteurs. Cependant, le sous-secteur élevage a vu ses émissions augmenter de 0,8 kt sur la période (+ 3%).

Les émissions de $PM_{2,5}$ du secteur agricole ont quant à elles sensiblement diminué sur la période 1990-2023, passant de 29,4 kt $PM_{2,5}$ en 1990 à 9,3 kt $PM_{2,5}$ en 2023 (soit une baisse de 68%). La principale baisse observée pour le secteur agricole concerne les engins, du fait d'une importante amélioration du parc des tracteurs : celle-ci est liée au renouvellement du parc combiné aux avancées technologiques réalisées sur les moteurs, auxquels sont associés des normes européennes plus strictes en termes de valeurs limites d'émission.

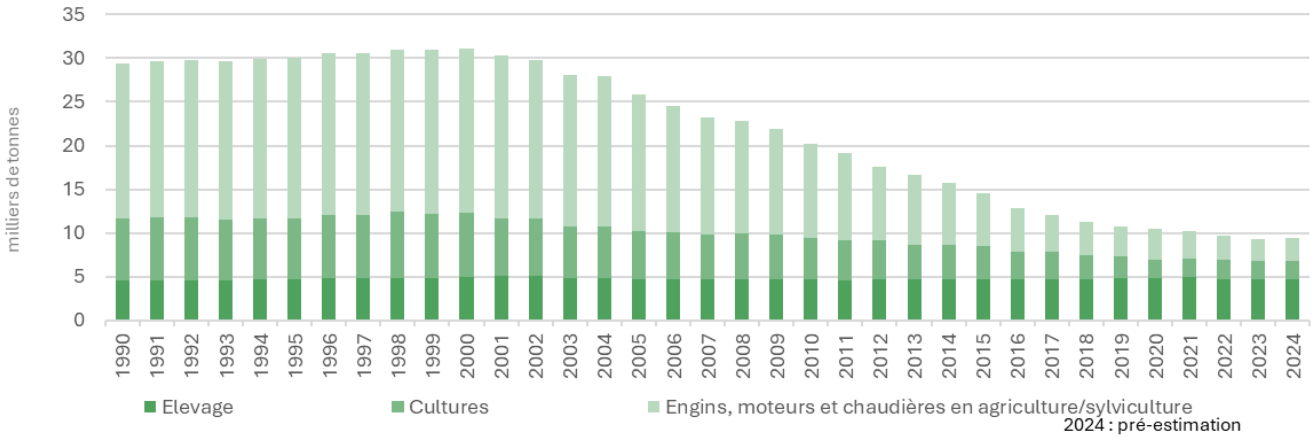
Pour le carbone suie dont les émissions sont issues des processus de combustion incomplète, la part liée à l'agriculture est en hausse sur la période 1990-2009, puis se replie sur 2010-2023 pour s'établir à 6% des émissions nationales en 2023. Les évolutions constatées sont très similaires à celles des $PM_{2,5}$: les postes émetteurs sont le brûlage des résidus et les consommations énergétiques, avec une forte baisse liée à l'amélioration du parc.



Répartition des émissions de TSP du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole)



Répartition des émissions de PM_{10} du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole)

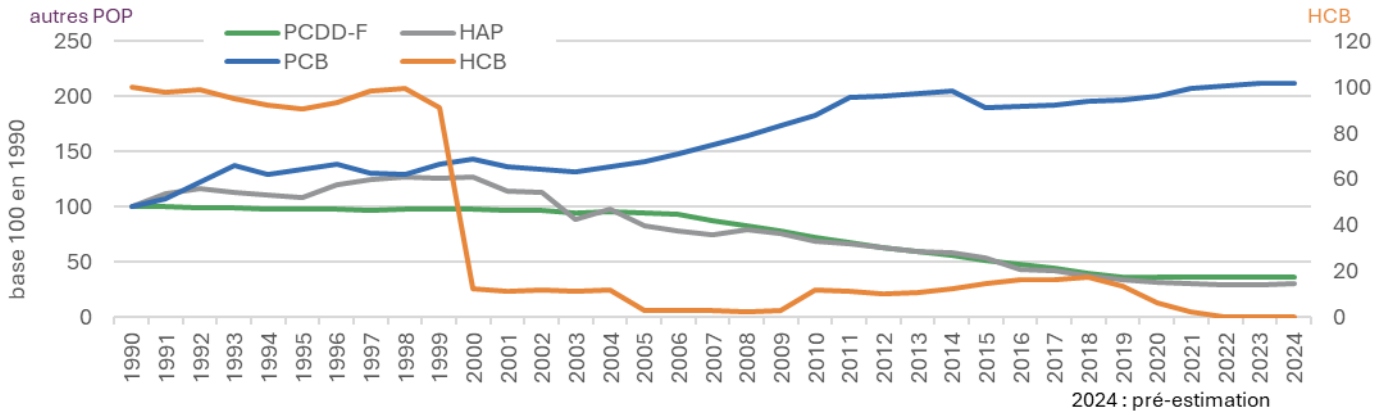


Répartition des émissions de $PM_{2,5}$ du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole)

Techniques de réduction

Les laveurs d'air et l'utilisation des systèmes de brumisation dans les bâtiments (porcs et volailles) permettent de réduire les émissions de particules ($PM_{2,5}$).

POP | Polluants organiques persistants

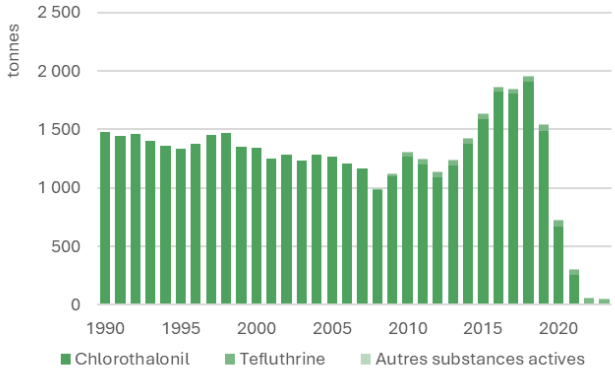


Tendances d'évolution des POP du secteur de l'agriculture/sylviculture en France (Métropole)

HCB | Hexachlorobenzene

Sources

Les émissions d'hexachlorobenzène (HCB) du secteur agriculture/sylviculture sont dues à l'application de certains pesticides. Les données d'activité sont les données de vente de produits phytopharmaceutiques issues de la banque nationale des ventes réalisées par les distributeurs de produits phytopharmaceutiques (dite BNV-D). Ces données ne sont disponibles que depuis 2008, année de création de la base de données dans le cadre du premier plan Ecophyto. La série temporelle 1990-2007 a été reconstituée sur la base d'apports moyens par culture.



Répartition des ventes de substances actives en France contenant du HCB (en tonnes ; moyenne lissée sur deux ans)

En France, les produits concernés par des traces de HCB dans leur composition sont le piclorame, le chlorothalonil, le téfluthrine et le chlorthal. Le chlorothalonil fait l'objet d'un enjeu majeur car il représente la quasi-totalité des émissions.

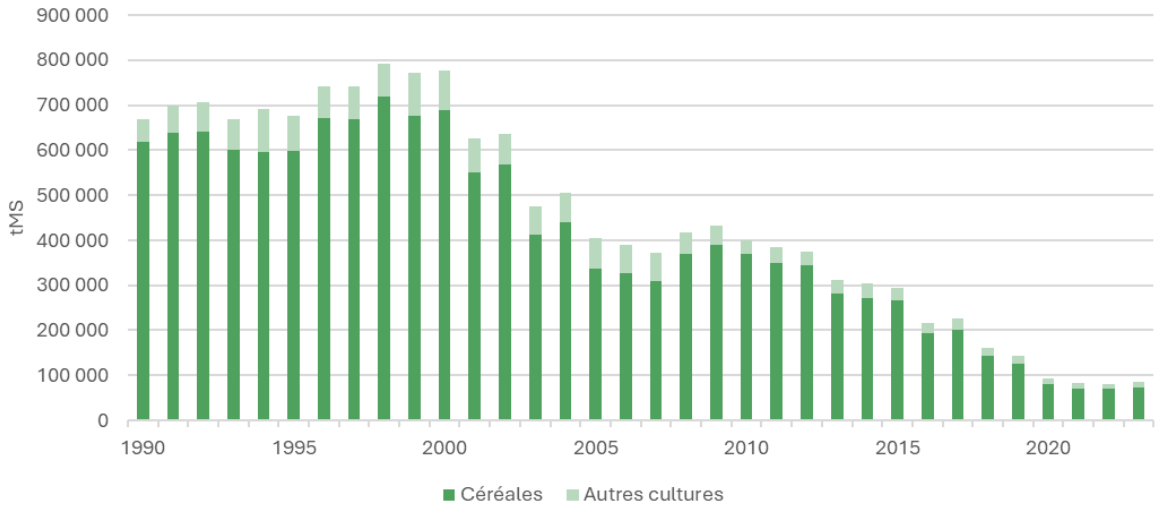
Attention : les quantités de substances actives vendues ne reflètent pas forcément le lieu d'utilisation, la quantité réelle appliquée ou la période d'application des traitements (constitution de stocks possible dans les exploitations par exemple).

Évolution future de la réglementation

L'approbation européenne du chlorothalonil, qui concentre la totalité des émissions estimées, n'a pas été renouvelée (règlement UE 2019/677 du 29/04/2019). En conséquence, les États Membres ont dû retirer les Autorisations de Mise sur le Marché (AMM) au plus tard le 20 novembre 2019 avec un délai de grâce le plus court possible et au plus tard le 20 mai 2020. Les émissions de HCB en provenance du chlorothalonil reculent donc nettement à partir de l'année 2020 et ont quasiment disparu dès 2022.

HAP | Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Les émissions de HAP du secteur agriculture/sylviculture sont principalement générées par le brûlage des résidus de culture. La baisse des émissions depuis 1990 est à mettre en lien avec la diminution progressive de ces pratiques de brûlage.



Matière sèche des résidus agricoles brûlée

▶ La méthode de calcul de l'inventaire national d'émissions de GES et de polluants est présentée en détail, par secteur, dans le **rapport annuel Ominea** du Citepa.

Transports

Rédaction : **Jean-Marc ANDRÉ , Mathis PASTORELLI, Adrien MERCIER**

En bref

Le secteur intègre d'une part les sources routières des différentes catégories de véhicules et d'autre part les sources non routières. Ces dernières incluent les transports aérien, ferroviaire, maritime (dont pêche), fluvial de marchandises et autres modes de navigation (bateaux de plaisance et autres petits bateaux).

Ce secteur est la source clé des émissions des gaz à effet de serre, notamment dues aux émissions de CO_2 du transport routier. Ces émissions étaient globalement stables dans la dernière décennie. Depuis la crise COVID de 2020, après une reprise des émissions suite au déconfinement, les émissions sont maintenant à la baisse et atteignent en 2024 le niveau de 1990. Ceci s'explique par la stagnation des émissions du routier, des baissent importantes pour le fluvial, le ferroviaire et le maritime domestique alors que les autres navigations et l'aérien domestique ont augmenté.

Les émissions des gaz à effet de serre du transport sont une conséquence de la demande, elle-même liée majoritairement à la démographie, aux politiques publiques (e.g. report modal et prime à la conversion des véhicules) et à l'évolution du prix des carburants. Ceci a un effet combiné et associé avec le renouvellement du parc (plus ou moins important selon le mode de transport) et l'introduction des agro-carburants.

Concernant les polluants atmosphériques, les émissions de l'ensemble des transports ont essentiellement diminué la dernière décennie grâce au renouvellement du parc des véhicules routier.

Description du secteur

Émissions incluses dans ce secteur

Les émissions du transport sont issues d'une part de la combustion des combustibles mais aussi de l'évaporation de l'essence et des abrasions (freins, pneus, route, caténaires, etc.). Les émissions sont distinguées par type d'énergie utilisée (gazole, essence, GPL-c, GNV, électricité, etc.).

Seule une partie des émissions des aéronefs et des bateaux est prise en compte dans les émissions totales en France. Chacun de ces sous-secteurs du transport peut lui-même être partagé en :

- trafic domestique : défini par les liaisons entre deux points situés dans le pays considéré, en l'occurrence la France ;
- trafic international : défini par liaisons entre deux points, l'un en France l'autre à l'étranger.

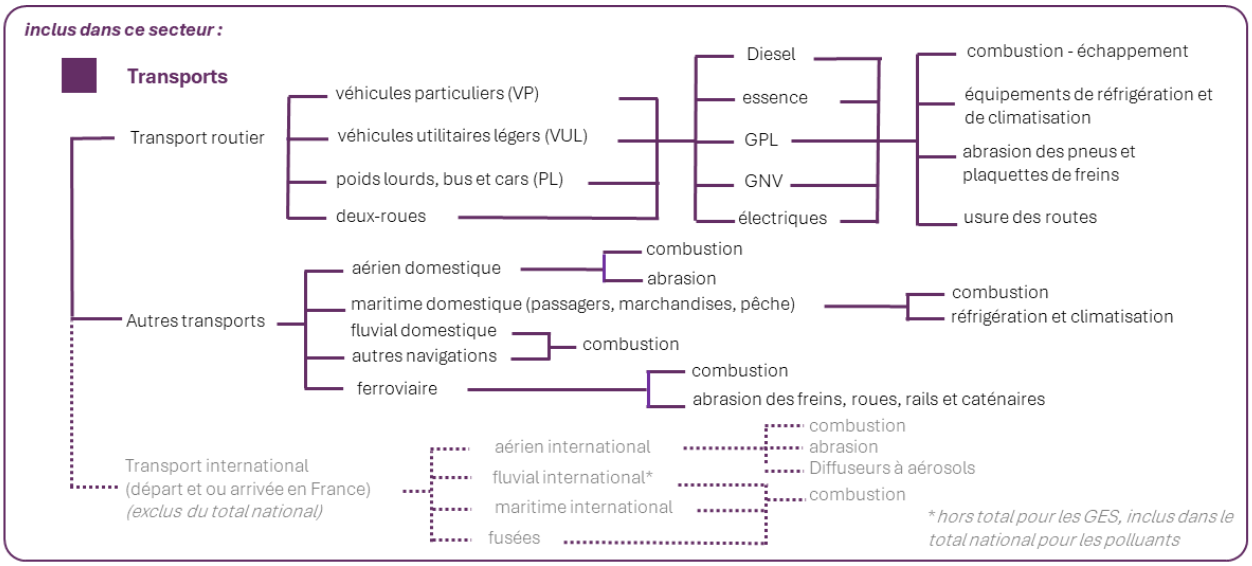
Dans ce rapport sont ainsi exclus du total national les rejets :

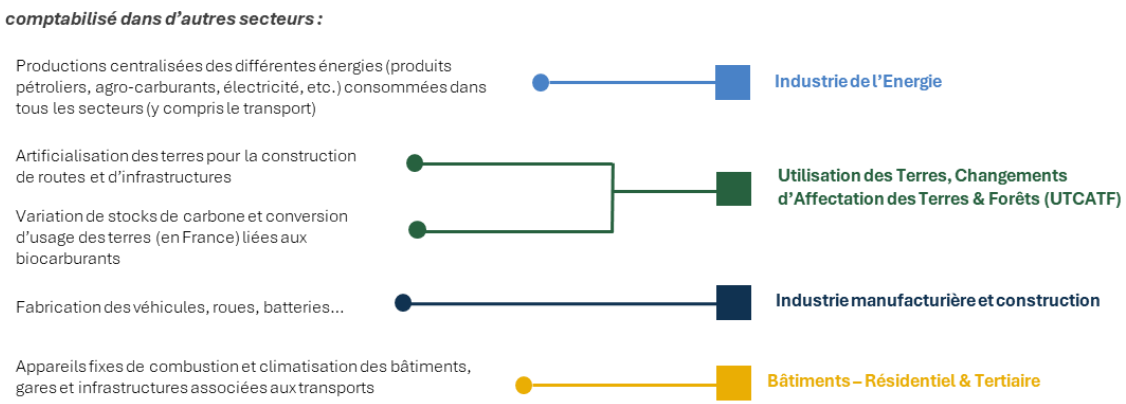
- du trafic maritime international,
- du trafic aérien international (LTO et croisières), pour les gaz à effet de serre,
- du trafic aérien domestique et international au-dessus de 1 000 m d'altitude (i.e. les croisières) pour les polluants atmosphériques,

- du trafic du transport fluvial de marchandises international, pour les gaz à effet de serre.

		Inclus dans le total national ?	
Type de Transport	**Type de substances émises**	**Trafic domestique**	**Trafic international**
Routier	Tous	Oui	*
Aérien	Gaz à effet de serre	Oui	Non
	Polluants émis <1 000 m	Oui	Oui
	Polluants émis >1 000 m	Non	Non
Ferroviaire	Tous	Oui	*
Maritime	Tous	Oui	Non
dont pêche	Tous	Oui	*
Fluvial de marchandise	Gaz à effet de serre	Oui	Non
	Polluants	Oui	Oui
Autres navigations	Tous	Oui	*

* Le trafic pour ces sous-secteurs est comptabilisé uniquement en métropole. Le transport routier est une importante source d'émissions du secteur. Par conséquent, ces émissions peuvent être désagrégées dans ce rapport selon les catégories suivantes pour une analyse plus fine des sources clés.





Le tableau ci-après montre l'attribution des différents modes de transport aux secteurs Secten dans les émissions incluses dans le total national.

Secten niv 2	Secten niv 3
Routier	VP Diesel (yc compris les hybrides rechargeables ou non)
	VP essence (yc compris les hybrides rechargeables ou non)
	VP GPL
	VP GNV
	VP électriques
	VUL Diesel (yc compris les hybrides rechargeables ou non)
	VUL essence (yc compris les hybrides rechargeables ou non)
	VUL GPL
	VUL GNV
	VUL électriques
	PL Diesel (y.c. bus et cars) (yc compris les hybrides rechargeables ou non)
	PL essence (y.c. bus et cars)
	PL GNV (y.c. bus et cars)
	PL électriques (y.c. bus et cars)
	Deux roues* essence
	Deux roues* Diesel
	Deux roues* électriques
Ferroviaire	Trains Diesel et électriques
Fluvial	Transport fluvial de marchandises.
Autres navigations	Bateaux de plaisance et autres petits bateaux
Maritime	Transport maritime domestique et pêche
Aérien	

* Les deux roues incluent les cyclomoteurs, les motocycles, les tricycles, les quadricycles ainsi que les voiturettes sans permis.

Émissions non incluses dans ce secteur

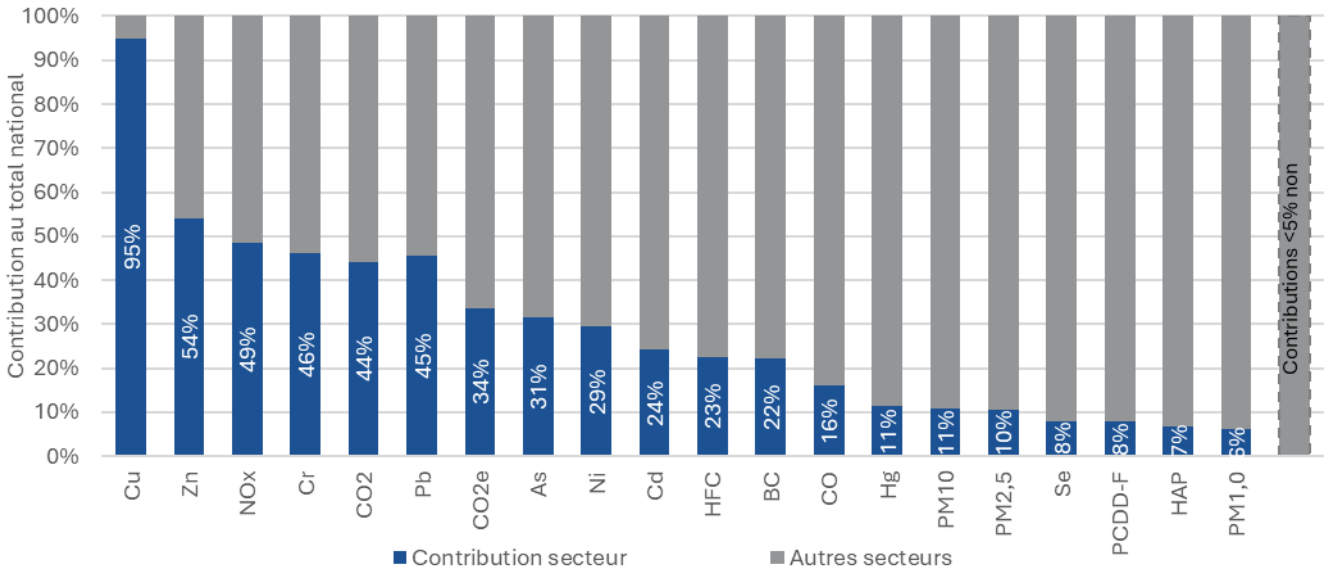
Les avions, dans certaines conditions, génèrent des traînées de condensation formant des nuages de cristaux de glace dans la haute atmosphère. Ces traînées de condensation ont un effet sur le forçage radiatif qui renforce l'effet de serre. Cet effet climatique des traînées de condensation de l'aviation est inclus dans la catégorie des forceurs climatiques à courte durée de vie (*short-lived climate forcers* ou SLCF).

D'après le dernier rapport d'évaluation du GIEC (AR6, Vol I, section 6.6.2.3.1), il est estimé qu'environ 66% du forçage radiatif net de l'aviation serait dû aux SLCF (principalement les traînées de condensation), mais que l'effet de ces SLCF sur le climat présente une haute variabilité spatio-temporelle et un effet de réchauffement sur le court-terme. L'estimation précise de ces effets hors CO_2 de l'aviation reste l'objet de discussions (GIEC, AR6, Vol III, chapter 10 section 10.5.2)

L'inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre calculé par le Citepa répond d'abord aux exigences de rapportage de la CCNUCC (et du Protocole de Kyoto et de l'Accord de Paris qui en découlent) qui ne couvre pas les SLCF. Les lignes directrices méthodologiques du GIEC pour les inventaires nationaux, dont l'usage est aussi exigé par la CCNUCC, fournissent les règles de calcul pour les émissions de gaz à effet de serre sur la base de leur pouvoir de réchauffement sur 100 ans (et non le forçage radiatif), et n'inclut pas la prise en compte des SLCF. Ainsi, la section dédiée aux émissions de l'aviation dans les lignes directrices du GIEC 2006 (le raffinement 2019 de ce guide n'a pas mis à jour cette section) indique que « *les connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas à d'autres gaz (N_2O et CH_4, par exemple) d'être inclus dans le calcul des émissions en phase de croisière (GIEC, 1999)* ». (GIEC (2006) vol. 2 ch. 3 section 3.70, note 17).

A noter que d'autres cadres de comptabilisation des émissions, non contraints par les règles de rapportage international, prennent en compte l'effet des traînées de condensation de l'aviation. Ainsi, depuis sa version 22 de 2022, la base carbone de l'Ademe indique que les modules dédiés aux émissions des déplacements « *ont été revus pour intégrer les postes fabrication manquants et la colonne hors Kyoto des traînées de condensation des avions* ».

Principales substances émises par le secteur



Substances pour lesquelles le secteur des transports contribue pour au moins 5% aux émissions en 2022

Les substances pour lesquelles le secteur des transports (transport routier et autres transports) contribue pour plus de 5% aux émissions totales de la France métropolitaine pour les polluants atmosphériques ou de la France métropolitaine et de l'Outre-Mer appartenant à l'Union Européenne pour les gaz à effet de serre pour cette année sont présentées ci-dessus.

Comme le montrent le tableau et les figures ci-après, le transport routier domine très largement les autres modes de transport. Bien qu'il faille raisonner plus en détail par mode de transport, les émissions du secteur des transports en France ont globalement diminué depuis 1990 sauf pour le CO_2, CO_2e, l'As, le Cr, le Cd, le Cu, le Se et le Zn. Les baisses enregistrées sont à mettre très largement à l'actif du transport routier. Les émissions de HFC ont aussi augmenté depuis 1993, année où sont apparues ces émissions dans le transport.

	Total National			Total transports			Routier [c]			Ferroviaire		
	2023	1990	Δ% 2023 / 90	2023	% par rapport au total	Δ% 2023 / 90	2023	% par rapport au total	Δ% 2023 / 90	2023	% par rapport au total	Δ% 2023 / 90
NO_X (Gg)	654	2 140	-69	318	49	-75	280	43	-76	1,8	0,28	-94
CO (Gg)	2 132	10 165	-79	342	16	-94	209	9,8	-96	1,3	0,06	-75
HFC (Gg CO_2e)	8 391	4 226	99	1898	23	-	1456	17	-	38	0,45	-
CO_2 (Tg)	279	400	-30	123	44	0,42	116	42	1,6	0,33	0,12	-69
CO2e (Tg CO_2e)	376	547	-31	126	34	1,4	119	32	2,2	0,38	0,10	-66
As (Mg)	5,6	18	-69	1,7	31	18	1,7	31	35	0,00	0,00	-66
Cd (Mg)	2,4	20	-88	0,58	24	39	0,56	23	46	0,00	0,00	-66
Cr (Mg)	32	402	-92	15	46	26	15	46	29	0,00	0,00	-66
Cu (Mg)	314	296	6,3	299	95	30	235	75	34	63	20	19
Hg (Mg)	2,1	26	-92	0,24	11	-5,0	0,24	11	-2,9	0,00	0,01	-66
Ni (Mg)	21	299	-93	6,3	29	-54	5,0	23	41	0,00	0,00	-66
Pb (Mg)	87	4 301	-98	40	45	-99	35	40	-99	0,00	0,00	-66
Se (Mg)	8,5	13	-34	0,68	8,0	29	0,68	7,9	46	0,00	0,00	-66
Zn (Mg)	387	2 100	-82	210	54	37	205	53	39	0,00	0,00	-66
PM_{10} (Gg)	239	599	-60	26	11	-69	22	9,0	-71	2,1	0,89	-41
$PM_{2,5}$ (Gg)	160	475	-66	17	10	-77	14	9,0	-79	0,68	0,43	-65
$PM_{1,0}$ (Gg)	129	412	-69	7,9	6,1	-87	6,4	5,0	-89	-	-	-
BC (Gg)	26	82	-69	5,7	22	-82	5,4	21	-83	0,01	0,05	-98
HAP (Mg) [*]	32	46	-32	2,1	6,8	-31	2,0	6,3	-29	0,03	0,08	-66
PCDD-F (g-ITEQ)	119	1 801	-93	9,3	7,8	-49	9,1	7,7	-49	0,03	0,03	-66

	Fluvial [a]			Maritime [a] [d]			Autres Navigations [e]			Aérien [a]		
	2023	% par rapport au total	Δ% 2023 / 90	2023	% par rapport au total	Δ% 2023 / 90	2023	% par rapport au total	Δ% 2023 / 90	2023	% par rapport au total	Δ% 2023 / 90
NO_X (Gg)	1,6	0,25	-36	19	2,9	-67	5,7	0,88	19	10	1,5	51
CO (Gg)	0,93	0,04	-30	9,0	0,42	-18	109	5,1	-14	12	0,56	-34
HFC (Gg CO_2e)	-	-	-	404	4,8	-	-	-	-	0,17	0,00	-
CO_2 (Tg)	0,09	0,03	-25	1,4	0,50	-53	0,96	0,34	47	4,4	1,6	20
CO2e (Tg CO_2e)	0,10	0,03	-25	1,8	0,48	-40	0,98	0,26	48	4,4	1,2	20
As (Mg)	0,00	0,00	-26	0,03	0,48	-88	0,00	0,00	70	-	-	-
Cd (Mg)	0,00	0,00	-26	0,01	0,22	-78	0,02	0,68	70	-	-	-
Cr (Mg)	0,00	0,00	-26	0,04	0,11	-85	0,02	0,05	70	-	-	-
Cu (Mg)	0,00	0,00	-26	0,07	0,02	-85	0,06	0,02	70	-	-	-
Hg (Mg)	0,00	0,01	-26	0,00	0,08	-79	0,00	0,12	70	-	-	-
Ni (Mg)	0,00	0,00	-26	1,3	5,9	-88	0,02	0,08	70	-	-	-
Pb (Mg)	0,00	0,00	-26	0,02	0,02	-99	0,05	0,06	-100	4,8	5,5	-55
Se (Mg)	0,00	0,00	-26	0,01	0,10	-88	0,00	0,00	70	-	-	-
Zn (Mg)	0,00	0,00	-26	0,94	0,24	-76	3,2	0,84	70	-	-	-
PM_{10} (Gg)	0,15	0,06	-48	0,50	0,21	-85	1,1	0,45	55	0,19	0,08	17
$PM_{2,5}$ (Gg)	0,14	0,09	-48	0,43	0,27	-85	0,93	0,58	54	0,13	0,08	7,9
$PM_{1,0}$ (Gg)	0,13	0,10	-48	0,39	0,30	-85	0,88	0,68	253	0,04	0,03	-23
BC (Gg)	0,08	0,31	-48	0,02	0,09	-50	0,12	0,47	16	0,03	0,13	-13
HAP (Mg) [*]	0,01	0,04	-26	0,08	0,26	-56	0,02	0,08	63	-	-	-
PCDD-F (g-ITEQ)	0,01	0,01	-26	0,06	0,05	-72	0,03	0,03	63	-	-	-

(*) Somme des HAP tels que définis par la CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indeno(1,2,3-cd)pyrène

(a) **CO_2, N_2O et autres gaz à effet de serre** : selon définitions de la CCNUCC - les émissions répertoriées hors total ne sont pas incluses, à savoir les émissions internationales maritimes, fluviales et aériennes

Autres substances : selon définitions de CEE - NU - les émissions répertoriées hors total ne sont pas incluses, à savoir les émissions maritimes internationales, les émissions de la phase croisière (≥ 1000 m) des trafics aériens domestique et international.

(b) émissions hors UTCATF

(d) Dans le format SECTEN, la pêche nationale est incluse dans le sous-secteur "Maritime".

(c) L'usure des routes, des pneumatiques et des freins est prise en compte en plus de l'échappement pour les particules (sauf $PM_{1,0}$).

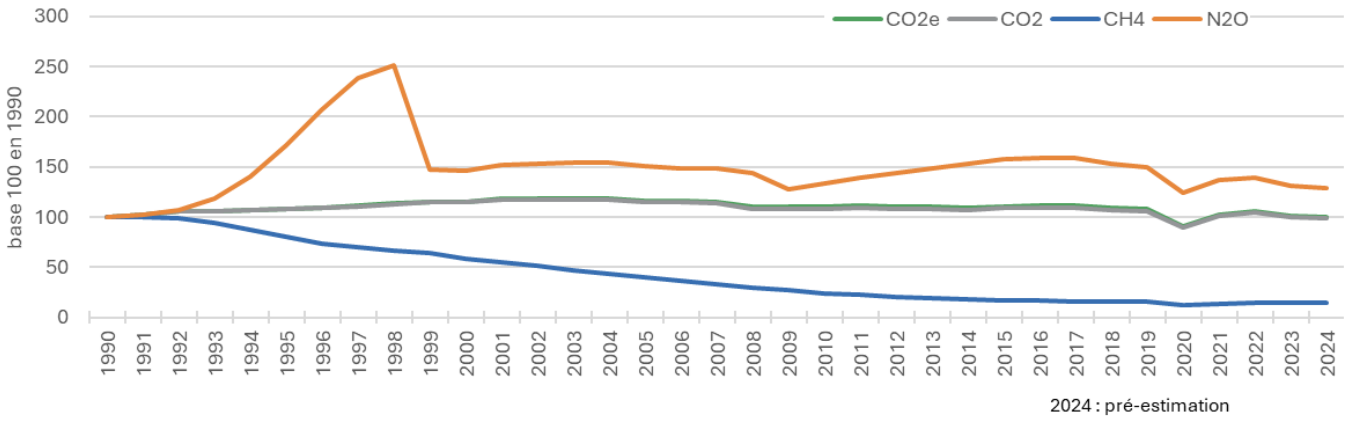
(e) Le poste "Autres Navigations" comprend les bateaux de plaisance et autres petits bateaux.

Émissions de gaz à effet de serre

Vue d'ensemble

Dans le secteur des transports, le transport routier prédomine largement en termes de CO_2e. Le CO_2e (hors biomasse) maximal a été atteint en 2004. Le profil d'évolution est lié à celui du CO_2 qui prédomine dans les émissions de GES de ce secteur. La très forte croissance des émissions de HFC depuis 1993 (cf. ci-dessous) n'a qu'un impact relativement faible sur le CO_2e.

Evolution des émissions totales de GES du secteur en CO2e Contribution du secteur aux émissions totales de GES de la France

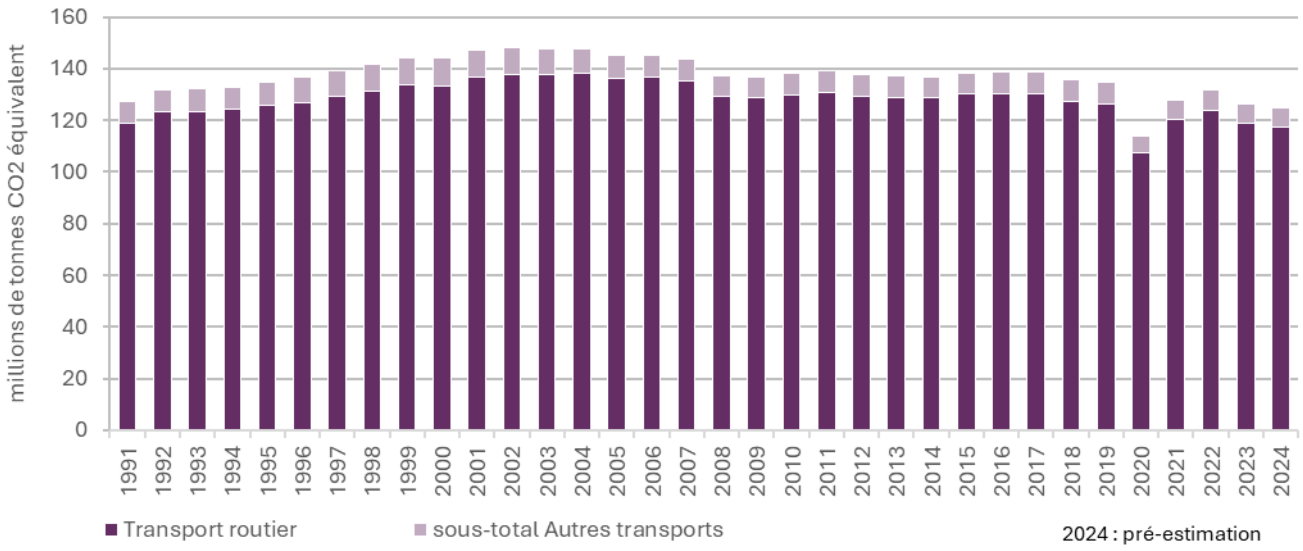


Evolution relative des émissions du secteur des transports des différents GES en France (Métropole et Outre-mer UE) (base 100 en 1990)

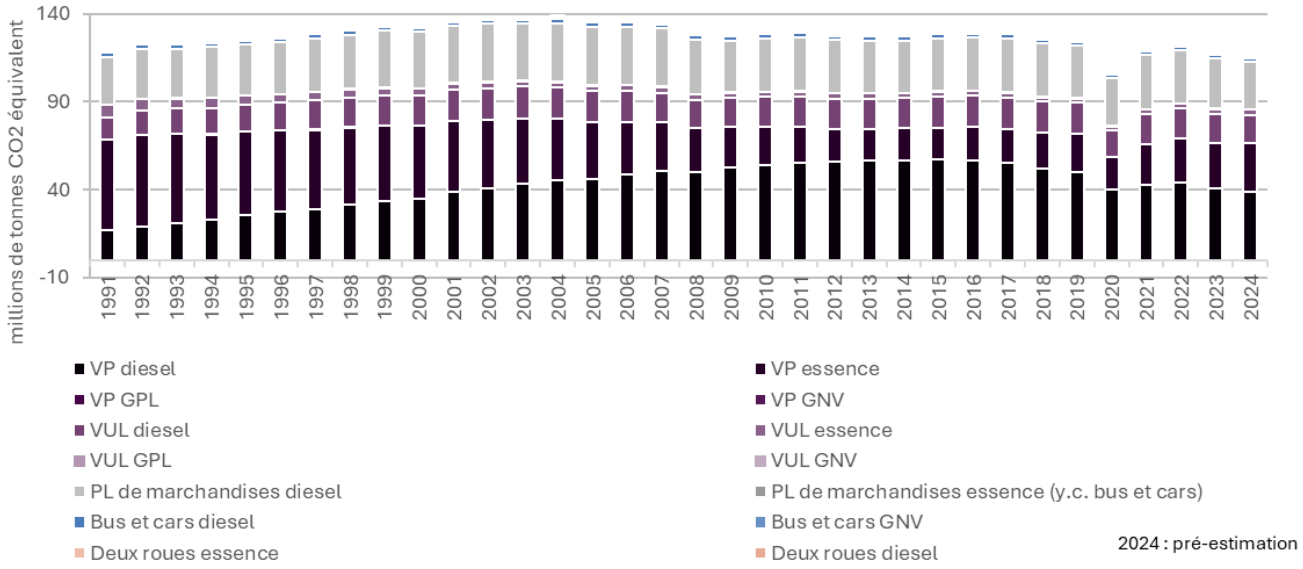
Tendance générale

Le secteur des transports représente plus d'un tiers des émissions de GES (34% en 2023). Les émissions ont beaucoup augmenté jusqu'en 2004 (+1,3%/an), puis elles ont baissé lentement jusqu'en 2019 (-0,6%/an), aidé par la crise de 2008 (-4,4% par rapport à 2007). La crise de la pandémie de Covid-19 de 2020, a généré une

chute exceptionnelle des émissions du secteur des transports, en raison notamment des mesures de confinement et de restrictions de déplacements, estimée à -16% (-21 Mt CO_2e), dont -15% pour le transport routier et -39% pour le transport aérien français sur le périmètre Métropole et Outre-Mer par rapport à 2019. Après une reprise des trafics en 2021 et 2022, augmentant les émissions à des niveaux proches de la tendance pré-Covid, les émissions repartent à la baisse à partir de 2023. Cette dernière tendance vient s'ajouter à une tendance, depuis 2012, de l'inversion entre les courbes de ventes des véhicules particuliers Diesel et essence qui composent le parc de véhicules particuliers. La baisse des ventes de véhicules Diesel peut s'expliquer par le surcoût à la vente de ces véhicules pour la mise en conformité avec les normes Euro 5 et 6. Cet effet, associé à un prix du carburant en déclin en France entre 2012 et 2016 explique en partie l'augmentation d'environ 1,2% des émissions de CO_2e entre 2013 et 2016. Depuis 2015 et le « Dieselgate », la substitution du parc de véhicules particuliers Diesel par leurs homologues essence s'est accentuée.



Evolution des émissions dans l'air de CO_2e du secteur des transports depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air de CO_2e du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Ceci n'a cependant pas empêché les émissions de CO_2e d'être en léger déclin depuis 2017. Ce déclin est illustré majoritairement par une variation moyenne annuelle relativement constante du trafic et une consommation unitaire moyenne de carburant des véhicules Diesel

ayant dépassé celle des véhicules essence pour deux raisons principales :

- La complexification des motorisations Diesel qui, pour répondre aux normes plus strictes, fonctionnent sur des points de moins bon rendement. Ainsi, plus on avance dans le temps, moins l'écart de consommation entre essence et Diesel est important (à iso-norme et à iso-segment)
- Une répartition des véhicules essence davantage centrée sur les petits segments.

Enfin, en 2021, une reprise du trafic, et, par conséquent des émissions, est constatée avec une augmentation de 12% des émissions du CO_2e du transport par rapport à 2020. Néanmoins, le niveau d'émissions de CO_2e de 2022 reste en deçà de celui de 2019, d'environ -2%.

En dehors de ces crises ponctuelles, sur la période 2010-2019, l'évolution interannuelle des émissions de GES des transports varie entre -2,2%/an et +1,1%/an (en moyenne -0,28%/an, voire -1,8% si on prend la baisse de 2020). Or, la SNBC prévoit, dans sa trajectoire de réduction (tranches annuelles indicatives), une réduction moyenne d'environ -2%/an sur la période 2019-2023, -3%/an sur la période 2024-2028 et -4,5%/an sur la période 2029-2033. Par ailleurs, l'Union Européenne a réhaussé, le 5 mai 2021, l'objectif climat de l'UE à -55% en 2030 par rapport à 1990 (*Fit For 55*) et a fixé dans la législation l'objectif de neutralité carbone (zéro émission nette) à l'horizon 2050.

Evolution 2023-2024

Transport routier

La baisse estimée entre 2023 et 2024, de 1,2%, s'inscrit dans une tendance à la baisse depuis 2015 (-0,7%/an en moyenne entre 2015 et 2019). En 2020, en raison de la limitation des déplacements lors de la pandémie de Covid-19, les émissions de ce secteur avaient baissé de près de 15%, suivi d'un rebond en 2021 et 2022. Depuis 2023 la tendance à la baisse reprend.

L'année 2024 s'annonce plus faible de 1,2% que l'année 2023. Plusieurs effets expliquent en grande partie cette tendance à la baisse des dernières années. Il y a des effets de court terme tel que les augmentations des prix des carburants à la pompe qui limitent les déplacements non contraints au moment des hausses. Il y a aussi des effets de moyen et long terme comme le renouvellement du parc par des véhicules moins énergivores (véhicules électriques par exemples) ou comme le report modal (covoiturage, modes doux).

Aérien

Les émissions du transport aérien domestique ont connu plusieurs phases : une augmentation de 1990 à 2000 (+4,6%/an), une diminution de 2001 à 2015 (-1,7%/an), une augmentation de 2015 à 2019 (+3,3%/an) jusqu'à la crise Covid de 2020 où le trafic a été très fortement impacté (-39% entre 2019 et 2020). 2021 et 2022 sont des années de reprise de trafic aérien domestique suite à la crise (23%/an en moyenne sur ces 2 années). Par contre les émissions du trafic aérien domestique pour l'année 2023 sont en baisse de 4,6% par rapport à l'année 2022, et celles de 2024 en baisse de 4,3% par rapport à 2023. Ceci est en partie lié à la suppression des vols de courte durée (inférieure à 2h30) si une alternative ferroviaire directe existe (Décret n° 2023-385 du 22 mai 2023).

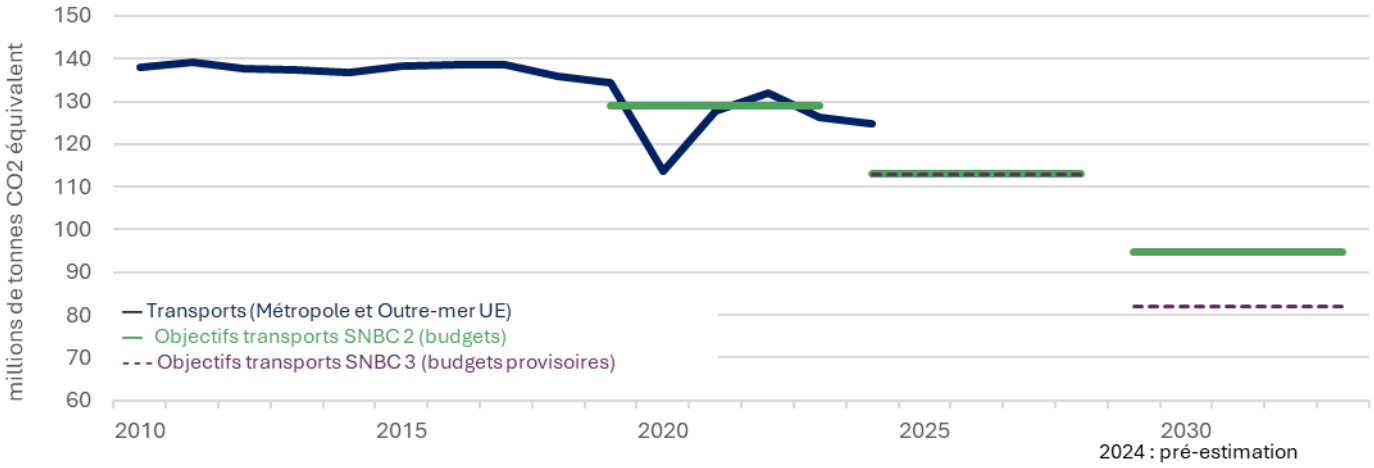
Les émissions du trafic aérien international (comptabilisées en dehors du total national) n'ont cessé d'augmenter de 1990 à 2019 (+2,6%/an). En 2020, avec la crise du Covid-19, la réduction massive des vols a entrainé une baisse de 57% des émissions par rapport à 2019. Depuis, le trafic croit de nouveau : En 2023, les émissions ont augmenté de 16% par rapport à 2022, et celles de 2024 de 5,0% par rapport à 2023, tout en restant 9,3% plus faible que celles de 2019.

Objectifs SNBC

La SNBC fait l'hypothèse d'une maîtrise de la hausse du trafic de personnes et de marchandises, de la décarbonation de l'énergie consommée par les véhicules, du report modal vers les mobilités actives et les transports en commun et de l'optimisation des performances énergétiques et de l'usage des véhicules.

Les réductions moyennes des émissions de CO_2e observées entre 2019 et 2023 (-1,5%/an en moyenne) sont inférieures à celle prévue par la SNBC (-2%/an en moyenne) pour plusieurs raisons. Tout d'abord les performances des véhicules thermiques neufs atteignent un plateau et donc des gains en CO_2 faibles. A cela vient s'ajouter la très nette augmentation des ventes de véhicules particuliers plus lourds de type SUV qui participe à ralentir la réduction des émissions de CO_2 du transport. En effet, en moyenne, les émissions kilométriques de CO_2 du parc roulant des véhicules particuliers ont été réduites de seulement 2,2% sur la période 2019-2023, avec même une augmentation de 1,7% entre 2023 et 2024. Par ailleurs, l'augmentation de la demande de mobilité n'a pas été compensée par le report modal du véhicule individuel vers les transports en

commun ou les mobilités actives. Enfin, le développement important du fret ferroviaire et fluvial est plus faible que celui envisagé dans la SNBC d'où des émissions de GES par les poids lourds plus importantes que prévues).



Emissions de CO_2e des transports et budgets carbone de la SNBC

Leviers de réduction

Pour parvenir aux importantes réductions d'émissions de la SNBC, la loi d'orientation des mobilités (LOM) fixe notamment l'objectif de stopper la vente de voitures utilisant des énergies fossiles en 2040. La loi climat et résilience a ajouté l'interdiction, dès 2030, de la vente des voitures émettant plus de 95 g CO_2/km. Ces lois devraient favoriser l'essor des véhicules électrifiés. En 2023, les véhicules électriques à batteries représentaient 17% et 14,5% des immatriculations à l'échelle de la France et de L'Europe, respectivement. Les hybrides rechargeables, quant à eux, représentaient 8,4% des immatriculations en France contre 7 ,6% en Europe (SDeS, « Données 2024 sur les immatriculations des véhicules » et Eurostat, « *New passenger cars by type of motor energy (road_eqr_carpda*) »). Cependant, après une chute drastique du nombre de nouvelles immatriculations de véhicules particuliers en 2020 (-25% par rapport à 2019), ces dernières restent en moyenne (sur la période 2020-2024) 17,5% plus faible qu'avant la crise Covid-19 (sources : SDeS, « Données 2024 sur les immatriculations des véhicules »). Ainsi, bien que la part des voitures électriques parmi les nouvelles immatriculations augmente au fil du temps, la baisse depuis 2020 du nombre total de nouvelles immatriculations semble être un frein au renouvellement du parc automobile français. À titre indicatif, les véhicules particuliers électriques ne représentaient en 2023 que 1,9% des véhicules particuliers roulant sur prise de carburant française (420 fois plus qu'en 2010).

Enfin, au niveau européen, la Commission européenne a proposé, pour adapter sa politique climat à l'objectif de -55% en 2030 (Fit for 55), de renforcer les dispositifs visant les transports, avec notamment l'inclusion de nouveaux secteurs dans le SEQE : le transport maritime au sein du système existant ; le transport routier au sein d'un « deuxième SEQE » dédié à partir de 2025, la révision du règlement (UE) 2019/631 sur les émissions spécifiques de CO_2 des véhicules légers neufs, avec un objectif de fin de mise en vente de véhicules thermiques (essence, Diesel) en 2035 (voir chapitre Politique et règlementation).

À l'échelle du territoire, le secteur aérien présente des émissions de CO_2e nettement plus faible que le transport routier mais, comme indiqué dans la SNBC, tous les leviers sont à actionner conjointement pour atteindre la neutralité carbone. Des gains substantiels d'efficacité énergétique, via la recherche et le développement (R&D) et l'introduction de carburants décarbonés sont nécessaires pour décarboner le secteur aérien. Des efforts en R&D sont également nécessaires pour disposer d'avions fonctionnant à l'électricité ou à l'hydrogène. Le gouvernement a ainsi lancé un appel à projets pour développer une filière française de carburants aéronautiques durables (voir l'article du Citepa « Carburants aviation durables » En savoir plus.

Par ailleurs, lors du Sommet de l'Aviation, qui s'est tenu à Toulouse du 3 au 4 février 2022, les ministres des transports des 27 États membres de l'Union européenne, le commissaire européen aux transports, le président du Conseil de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), les directeurs généraux européens de l'aviation civile ainsi que les représentants de l'industrie aéronautique et les représentants d'autres pays (Etats-Unis, Japon, Canada, etc.) se sont retrouvés pour échanger sur l'avenir du secteur aérien. Les échanges ont principalement porté sur les leviers de

décarbonation du secteur et sur l'adoption de la Déclaration de Toulouse pour une neutralité carbone du transport aérien d'ici 2050. Les discussions ont porté sur les leviers technologiques éventuels pour la décarbonation de l'aviation, et non sur des leviers de sobriété : l'optimisation des trajectoires, l'utilisation des carburants durables (notamment produits à partir de la biomasse), qui nécessite la mise en place d'une filière d'approvisionnement ; la modernisation de la flotte des avions ; le développement des nouvelles technologies (électricité, hybridation, hydrogène) (voir l'article du Citepa « objectif de neutralité carbone de l'aviation : déclaration de Toulouse ». En savoir plus.

Concernant le transport maritime, le Règlement (UE) n° 2015/757 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2015 concerne la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions de CO_2e du secteur du transport maritime. Depuis le 1er janvier 2018, les propriétaires de tous les navires [d'une jauge brute supérieure à 5 000 t] sont tenus de surveiller, de déclarer et de faire vérifier chaque année leurs émissions de CO_2 (voir l'article du Citepa « Règlement (UE) N°2015/757 du 29 avril 2015 sur le MRV des émissions de CO_2 du transport maritime ». En savoir plus.)

Finalement, pour appréhender la révolution que constitue la décarbonation du transport, France Stratégie et le CGEDD (Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable) ont présenté le 8 février 2022 un rapport intitulé « Prospectives 2040-2060 des transports et des mobilités – 20 ans pour réussir collectivement les déplacements de demain ». Au travers d'une approche « empreinte carbone complète » qui va au-delà du secteur du transport tel que défini dans la SNBC, le rapport analyse les leviers de réduction des GES du secteur des transports. D'après ce rapport, la neutralité carbone complète ne peut être atteinte qu'en associant aux progrès technologiques une plus grande sobriété d'usage (voyageurs et marchandises) : mobilités actives, covoiturage, mutualisation et massification, réduction du nombre et de la longueur des parcours (voir l'article du Citepa « Dans les transports, la sobriété est aussi nécessaire pour atteindre la neutralité carbone d'après un rapport prospectif de France Stratégie et du CGEDD » En savoir plus)

Analyse détaillée par gaz à effet de serre

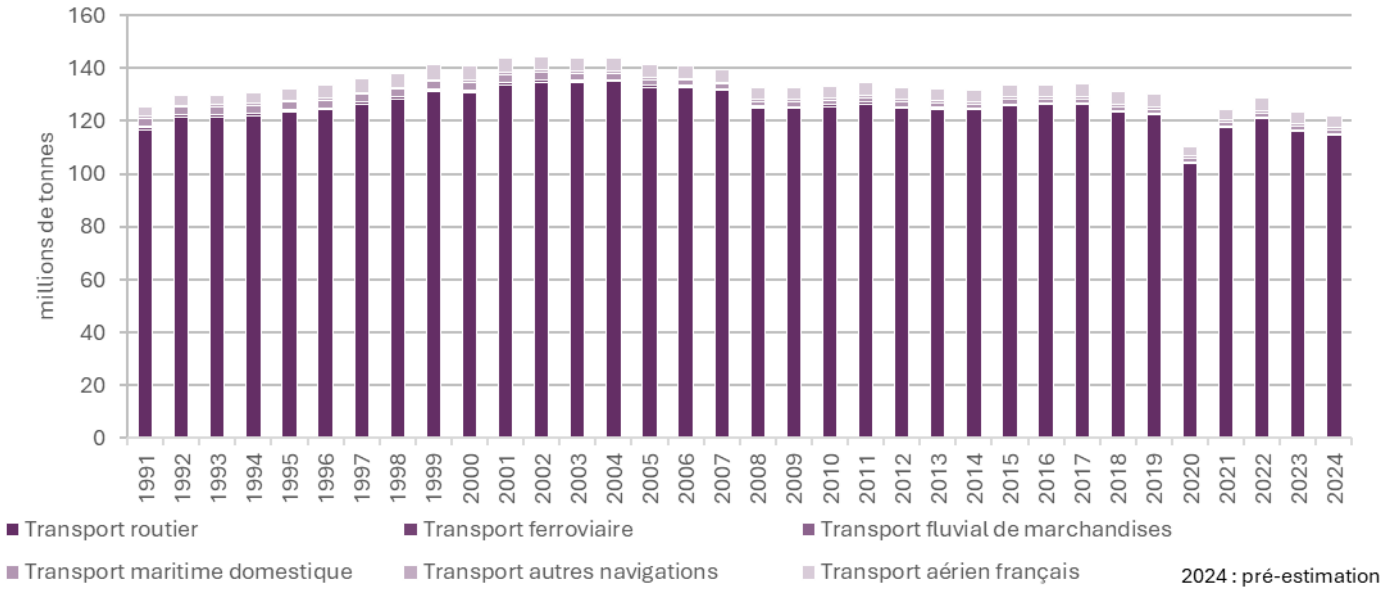
CO_2 | Dioxyde de carbone

Le mode routier est le principal contributeur aux émissions de CO_2 du secteur des transports.

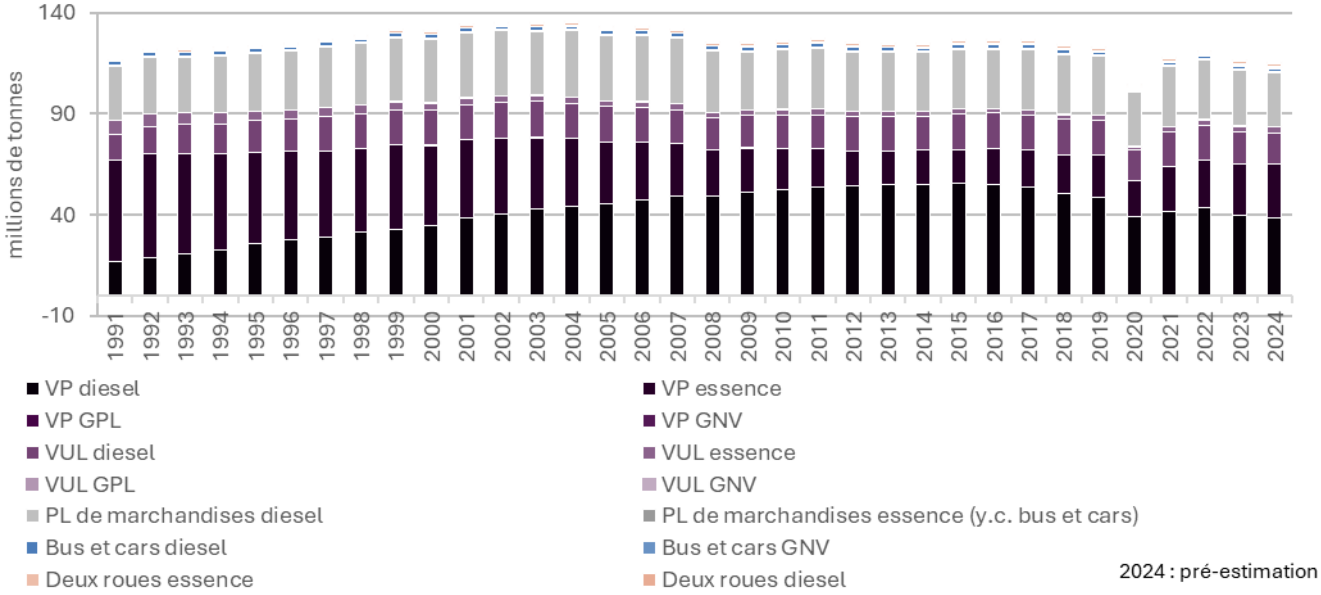
Les émissions du transport routier ont augmenté régulièrement jusqu'en 2004 en lien avec la hausse du trafic.

Depuis les émissions se sont décorrélées du trafic, d'une part par le recours accru aux agro-carburants comptés hors total national selon les exigences internationales, ainsi qu'au renouvellement du parc automobile par des véhicules moins énergivores. Néanmoins, une diminution s'est produite entre 2007 et les niveaux de 2008 et 2009. Cette dernière est liée principalement à la crise, à l'augmentation des prix des carburants au cours du premier semestre 2008, à la mise en place de la prime à la casse et du bonus-malus sur l'achat de véhicules neufs énergétiquement plus ou moins performants. Les émissions sont quasi stables depuis 2008. La crise sanitaire Covid-19 a provoqué une forte chute des émissions en 2020 (-16%), principalement liée aux baisses des émissions du transport routier (-15%) et du transport aérien français (-39%). À part l'année 2008, marquée par une crise économique, les émissions ont été quasi stables depuis la fin des années 2000 jusqu'en 2017. À partir de 2018, les émissions sont à un niveau inférieur aux années précédentes, passant d'une moyenne de 133 $MtCO_2$ de 2010 à 2017 à 125 $MtCO_2$ de 2018 à 2023, sans compter l'année 2020 exceptionnelle (110 $MtCO_2$).

Concernant les autres modes de transport, les diminutions les plus importantes sont imputables au transport ferroviaire (-69% en 2023 par rapport à 1990) et au trafic maritime, dont la pêche (-53%) alors que le trafic fluvial baisse plus faiblement (-25% en 2023 par rapport à 1990) et les émissions des autres navigations ont fortement augmenté (+47% en 2023 par rapport à 1990) comme celles du trafic aérien domestique (+20%)



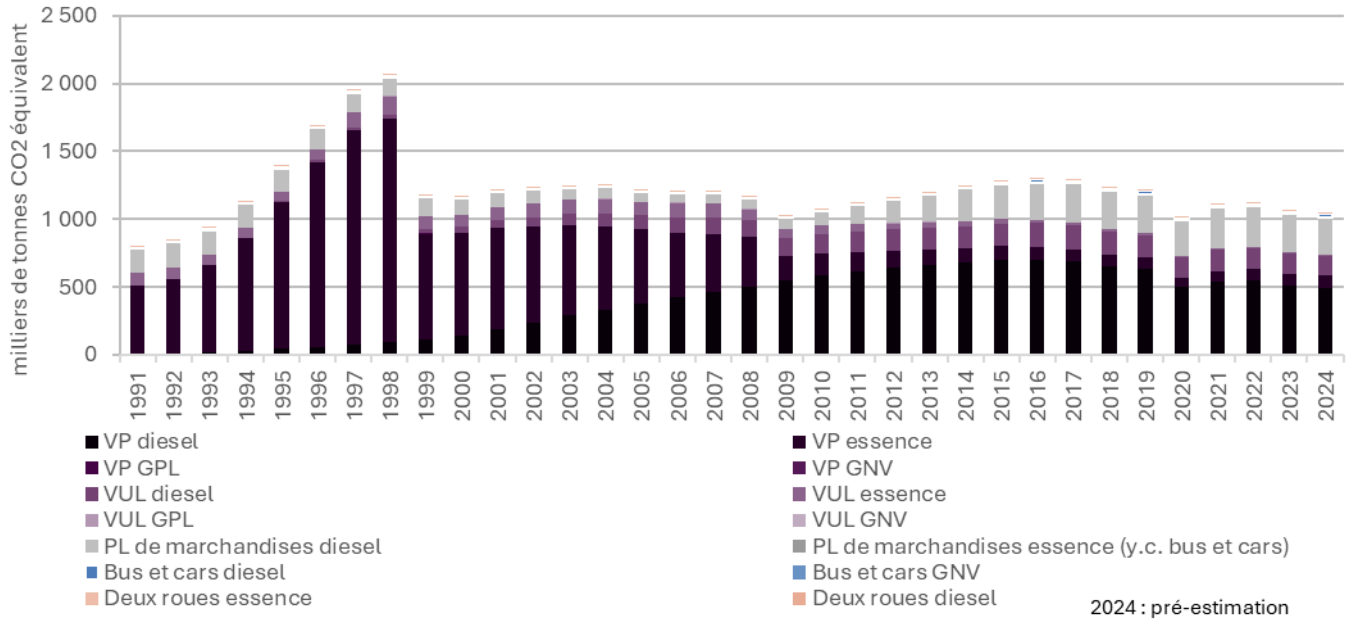
Evolution des émissions dans l'air de CO_2 du secteur des transports depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution des émissions dans l'air de CO_2 du secteur du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

N_2O | Protoxyde d'azote

Les émissions de N_2O du secteur sont en augmentation depuis 1990, principalement du fait du transport routier. Néanmoins, le transport n'est pas une source clé, avec des contributions aux émissions totales inférieures à 5%. Les émissions de N_2O ont progressivement augmenté dès l'introduction progressive de véhicules équipés de pot catalytique dans le parc à partir de 1992 afin de répondre à la norme antipollution Euro 1. À partir de la norme Euro 2, un meilleur contrôle du ratio air/carburant pendant la combustion a permis de limiter les réactions parasites à l'intérieur du catalyseur pouvant former du N_2O qui, associé à une baisse de la teneur en soufre du carburant routier (notamment de l'essence avec un passage de 500 à 192 ppm) a engendré un décrochage des émissions (-43% entre 1999 et 1998). La baisse observée en 2009 s'explique aussi par la diminution du taux de soufre dans tous les carburants (passage de 50 ppm à 10 ppm, impact principalement visible pour les véhicules particuliers essence) qui influence les émissions de N_2O. Les émissions ont légèrement augmenté entre 2010 et 2017 avec la reprise du trafic. Depuis, les émissions sont à la baisse en lien celles des véhicules Diesel.



Evolution des émissions dans l'air de N2O du secteur du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

HFC | Hydrofluorocarbures

Dans le transport routier, les émissions, qui sont nulles entre 1990 et 1992, ont été en très forte croissance de 1993 à 2013 en raison, d'une part, de l'utilisation de HFC-134a dans les climatisations automobiles en remplacement des CFC interdits par le Protocole de Montréal et, d'autre part, de la généralisation de la climatisation sur l'ensemble des gammes de véhicules.

Depuis, une diminution du secteur du transport routier est observée en raison de nouveau système de climatisation à taux de fuite très bas.

Le transport ferroviaire a également connu une croissance des émissions depuis l'an 2000. Une diminution est observée depuis 2015.

L'ensemble des émissions de HFC du transport, exprimé en équivalent CO_2, a augmenté très nettement depuis 1994. Celles-ci diminuent depuis 2013. L'utilisation de HFC à faible PRG permet de confirmer cette tendance à la baisse.

Evolution des émissions dans l'air de HFC du secteur des transports depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Émissions de polluants atmosphériques

Cadre politique

Loi LOM (2019)

Le 26 décembre 2019, la loi d'orientation des mobilités (dite LOM) a été publiée au Journal Officiel (loi n° 2019 1428). Elle prévoit plusieurs mesures d'ordre réglementaire, fiscal, financier et incitatif visant entre autres à réduire les déplacements émetteurs de polluants et de gaz à effet de serre et à améliorer la qualité de l'air, en favorisant la mobilité propre. La loi LOM prévoit des investissements dans les transports en commun, le déploiement de nouvelles solutions de déplacement (co-voiturage, forfait mobilité durable, solution innovante de mobilité).

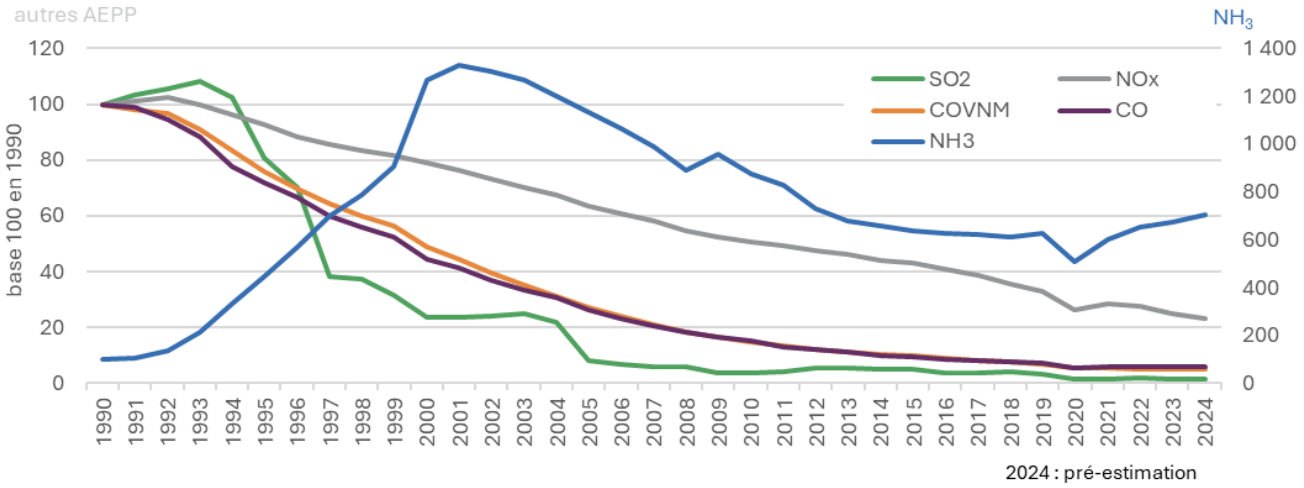
Les Zones à faibles émissions

La LOM permet également aux collectivités qui le souhaitent de mettre en place des zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m) afin de limiter la circulation des véhicules les plus polluants, selon les critères de leurs choix.

La loi Climat et Résilience est venue renforcée les dispositions prises par la LOM dans le but d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris et du pacte vert pour l'Europe. Ainsi, les agglomérations de plus de 150 000 habitants, situées sur le territoire métropolitain, ont l'obligation de mettre en place une zone à faibles émissions mobilité avant le 31 décembre 2024. Le décret n° 2022-1641 du 23 décembre 2022 fixe les exemptions à l'obligation de mettre en place une ZFE-m pour les agglomérations de plus de 150 000 habitants. L'obligation est levée dès lors que les concentrations moyennes annuelles mesurées en NO_2 sur le territoire de l'agglomération sont inférieures ou égales à 10 µg/m^3 (valeur guide établie par l'OMS) au moins 3 années sur les 5 dernières années civiles, ou qu'au moins 95% de la population de chaque commune de l'agglomération n'est pas exposée à des concentrations supérieures à 10 µg/m3 (on parle alors de « territoire de vigilance »). Ce décret prévoit également la possibilité de déroger à la mise en place d'une ZFE dès lors que des actions équivalentes permettent d'atteindre ce critère dans des délais plus courts ou similaires que ce que permettrait la mise en place d'une ZFE (étude à l'appui).

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique (AEPP)

Le graphique ci-dessous présente les grandes tendances d'évolution des différentes substances de type AEPP pour le secteur des transports (base 100 en 1990). Il met en avant la tendance à la baisse de chaque substance, sauf pour le NH_3.



Evolution relative des émissions du secteur des transports des substances de l'AEPP en France (Métropole) (base 100 en 1990)

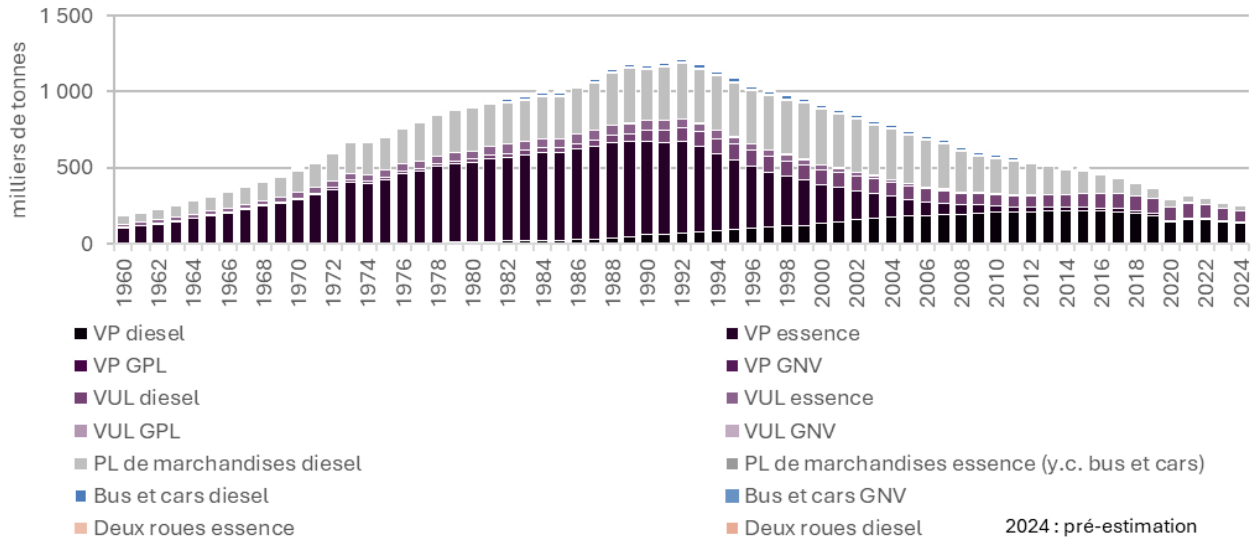
NO_X | Oxydes d'azote

Le transport routier est l'émetteur dominant du secteur des transports depuis 1990.

Globalement, le renouvellement du parc de véhicules et l'introduction généralisée de pots catalytiques sur les véhicules légers essence depuis 1993 et de systèmes

catalytiques de réduction (SCR) sur les véhicules légers Diesel à partir de 2016 conduisent à une réduction des émissions du transport routier depuis 1990, malgré une croissance du trafic.

La baisse des rejets de NO_X du transport routier n'a pas suivi la baisse des valeurs limites d'émissions (VLE) des normes. Il y a même eu pour les véhicules Diesel de norme Euro 5 une hausse du facteur d'émission par rapport à celui des véhicules de normes Euro 4. Les facteurs d'émission des normes Euro 6 sont plus faibles que ceux des normes précédentes. Cette sévérité accrue sur la norme a favorisé le déploiement des systèmes SCR ou piège à NO_X qui équipent les motorisations Diesel. Néanmoins, jusqu'au 1er septembre 2017, les émissions en conditions réelles étaient relativement éloignées des valeurs limites d'émissions (VLE) des normes à cause d'un cycle d'homologation NEDC (New European Driving Cycle) peu représentatif des conditions réelles de circulation. Ainsi, à partir de cette date, la nouvelle procédure d'homologation WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures) qui, associée à la mise en place de facteurs de conformité imposant un seuil maximal d'émission en conditions réelles de conduite (RDE- Real Driving Emissions) de respectivement 2,1 et 1,43 fois la norme pour les réglementations Euro 6c et 6d, a permis, avec le renouvellement du parc, de considérablement réduire les émissions de NO_X des véhicules. La dé-diésélisation du parc depuis 2015 a aussi aidé à la baisse des émissions.



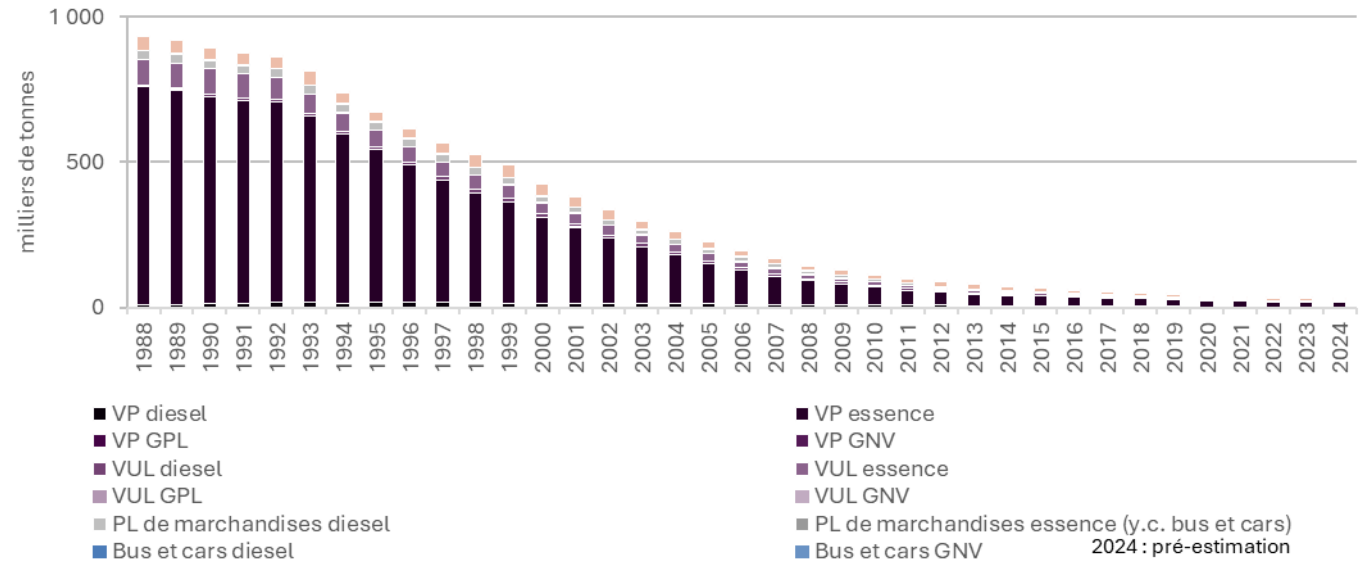
Evolution des émissions dans l'air de NOx du secteur du transport routier depuis 1960 en France (Métropole et Outre-mer UE)

COVNM | Composés organiques volatils

Le transport routier est l'émetteur dominant du secteur des transports depuis 1990. Les émissions de COVNM sont un indicateur des motorisations essence. Elles proviennent, d'une part, de la combustion et, d'autre part, des évaporations.

Les réductions des émissions proviennent essentiellement de l'introduction des pots catalytiques des véhicules légers essence depuis le début des années 1990, combinée à une pénétration des véhicules Diesel et à la limitation des émissions par évaporation des véhicules essence. Cette baisse devrait s'atténuer dans les années à venir du fait du recul de la diésélisation du parc et de valeurs limites d'émissions des normes Euro qui ne varient plus.

Dans les autres modes de transport, le sous-secteur des autres navigations (bateaux de plaisance) est prédominant en termes d'émission de COVNM. Cela s'explique notamment par la forte consommation de carburant essence du secteur. La tendance suit l'évolution de l'introduction des moteurs 4-temps en plus de l'introduction de moteurs moins polluants.

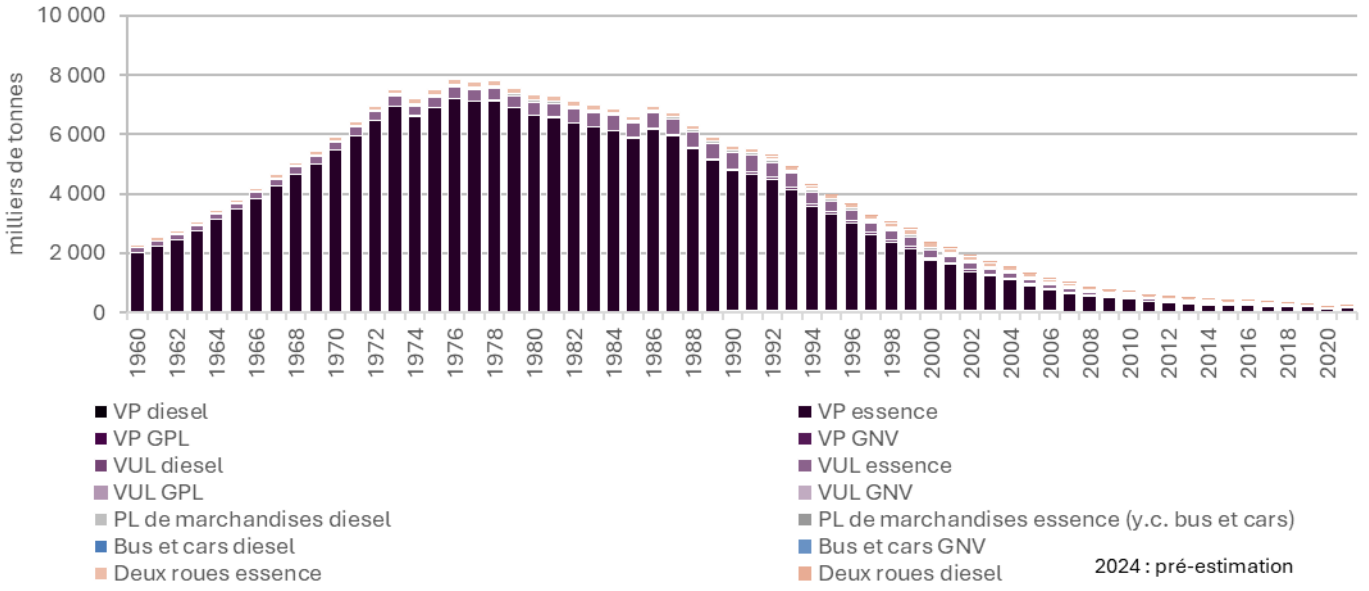


Evolution des émissions dans l'air de COVNM du secteur du transport routier depuis 1988 en France (Métropole et Outre-mer UE)

CO | Monoxyde de carbone

Le transport routier est le plus important contributeur au secteur des transports depuis 1990. À noter, comme pour les COVNM, la réduction très importante des émissions du transport routier depuis 1990. Cette baisse devrait s'atténuer d'une part à cause du recul de la diésélisation et d'autre part dû à des valeurs limites d'émissions des normes Euro qui ne changent plus.

Dans les autres modes de transport, les autres navigations contribuent presque exclusivement aux émissions de CO. Sur l'ensemble de la période, les émissions ont baissé du fait de l'augmentation des moteurs 4-temps du trafic des bateaux de plaisance et de la pénétration des moteurs moins polluants.



Evolution des émissions dans l'air de CO du secteur du transport routier depuis 1960 en France (Métropole et Outre-mer UE)

SO_2 | Dioxyde de soufre

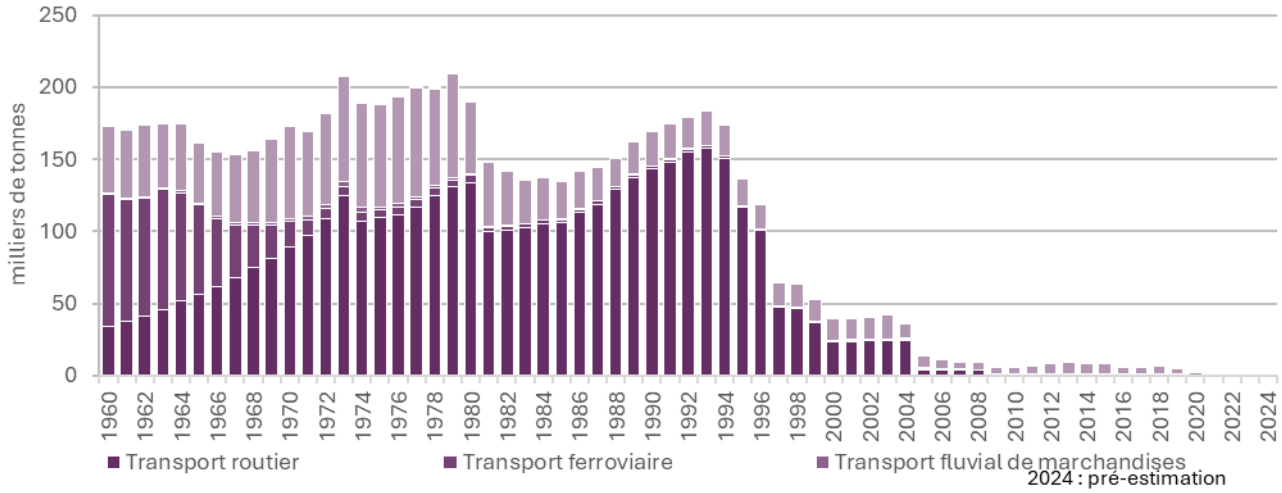
Le transport ne représente plus une source clé des émissions de SO_2. Néanmoins ces émissions représentent des enjeux sanitaires importants.

Parmi les différents modes de transport, celui qui émet le plus de SO_2 est le secteur maritime domestique.

L'annexe VI de la Convention MARPOL limite à 3,5% depuis 2012 et à 0,5% depuis 2020 la teneur en soufre du fioul lourd utilisé pour la propulsion des navires, et désigne des zones de contrôle des émissions de SO_2 à l'intérieur desquelles la teneur en soufre du carburant utilisé pour la propulsion des navires doit être inférieure à 0,1% (depuis 2015), ou au sein desquelles il y a lieu d'utiliser diverses techniques pour limiter les émissions de SO_2 des navires. Cette annexe est entrée en vigueur en 1998 au niveau international un an après sa ratification par au moins 15 États dont les flottes marchandes représentent au moins 50% du tonnage brut de la flotte mondiale des navires de commerce.

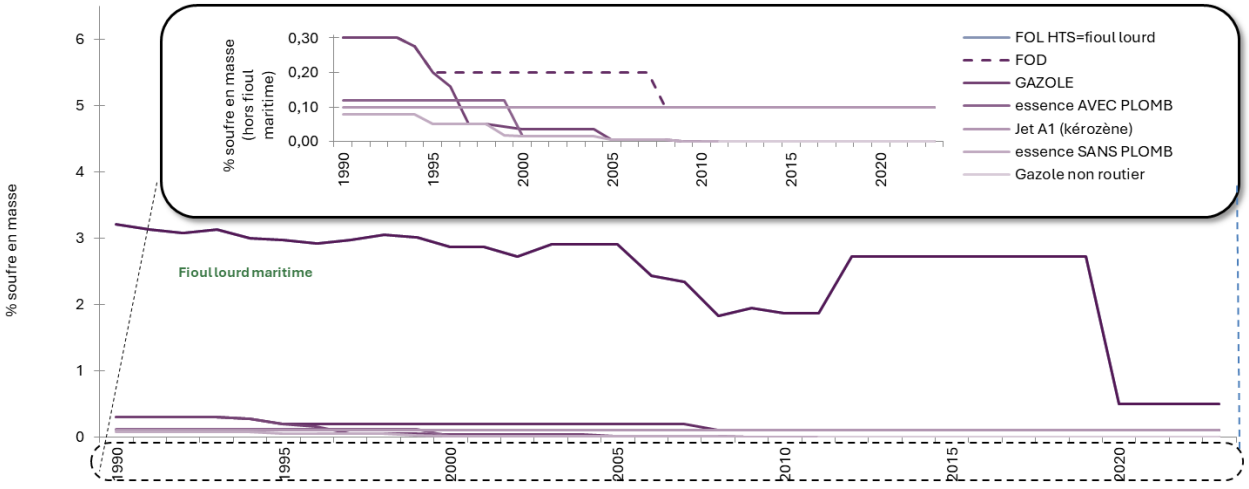
La directive européenne 2012/33/UE, transposée dans le droit national français le 26 décembre 2015 impose également aux navires, lorsqu'ils stationnent à quai plus de 2 h dans un port de l'UE, d'utiliser un carburant ayant une teneur en soufre maximale de 0,1% ou utiliser des techniques diverses de limitations des émissions de SO_2.

Les émissions de SO_2 du trafic routier ont été réduites par rapport à 1990 par la désulfuration des carburants pour permettre le bon fonctionnement des systèmes de post-traitements (catalyseurs, filtre à particules- FAP).



Evolution des émissions dans l'air de SOx du secteur des transports depuis 1960 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Les taux de soufre présentés ci-dessous sont ceux des réglementations successives qui ont été en vigueur. Toutefois, certaines années, ils reflètent, soit des anticipations des pétroliers sur la réglementation, soit la mise en œuvre de la réglementation au prorata de sa mise en application.

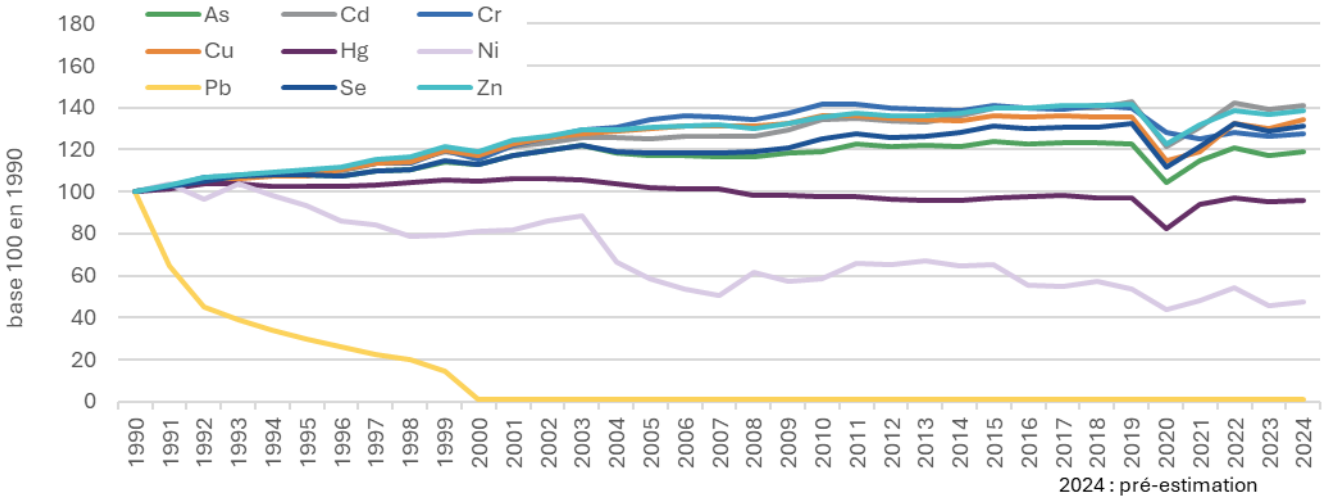


Teneur en soufre des carburants en France

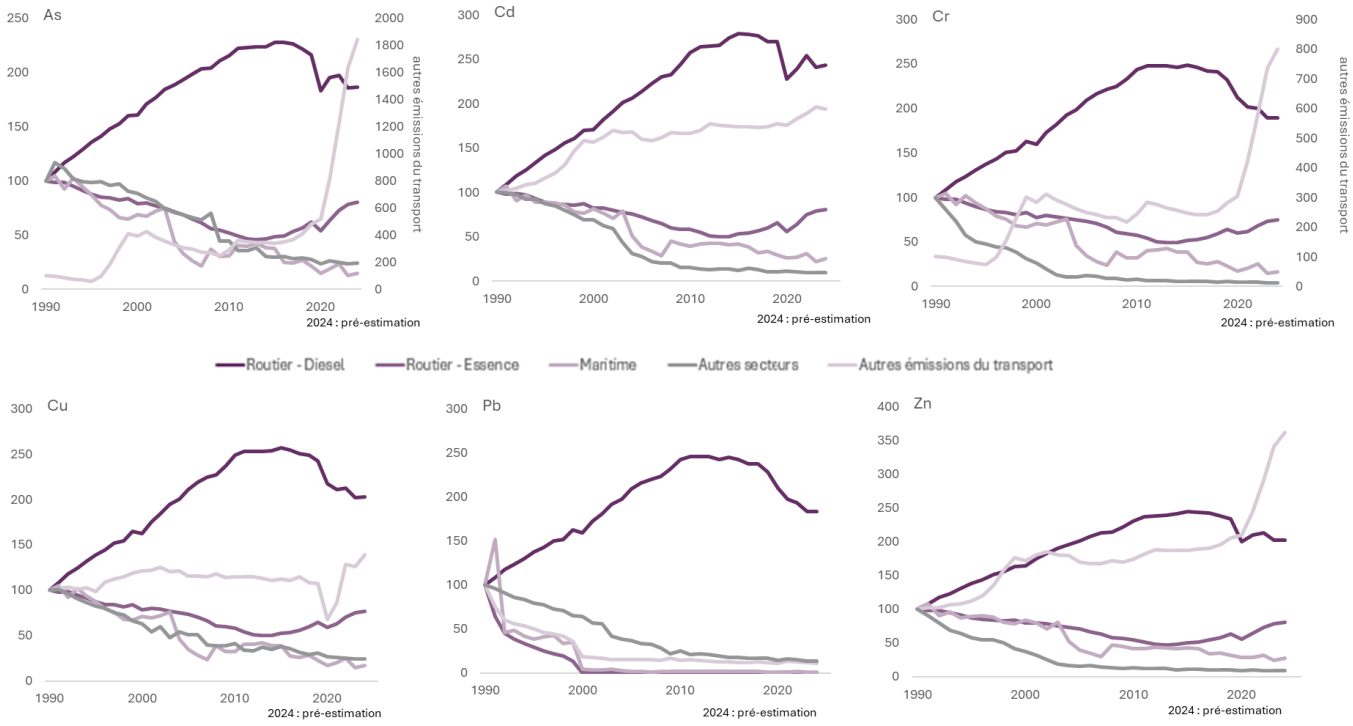
Métaux lourds

Les émissions de métaux lourds dans les transports sont principalement issues du transport routier. Les phénomènes entraînant ces émissions sont l'usure (des pneus, des freins, de la route, etc.) et la combustion (des combustibles et d'une partie des huiles moteur).

Les proportions des émissions entre ces deux sources sont différentes selon le polluant considéré. Pour **l'huile**, il s'agit d'une fraction d'huile contenue dans les gaz dits de « *blow by* » qui remontent du carter moteur vers la chambre de combustion au travers de la segmentation (moteurs 4-temps) ou de l'huile contenu dans le mélange 2-temps (des 2-roues). Pour les **combustibles**, les émissions sont directement liées à leur teneur en métaux lourds. Ces différentes sources ne sont pas forcément émettrices de tous les métaux lourds.



Evolution relative des émissions du secteur des transports des métaux lourds en France (Métropole) (base 100 en 1990)



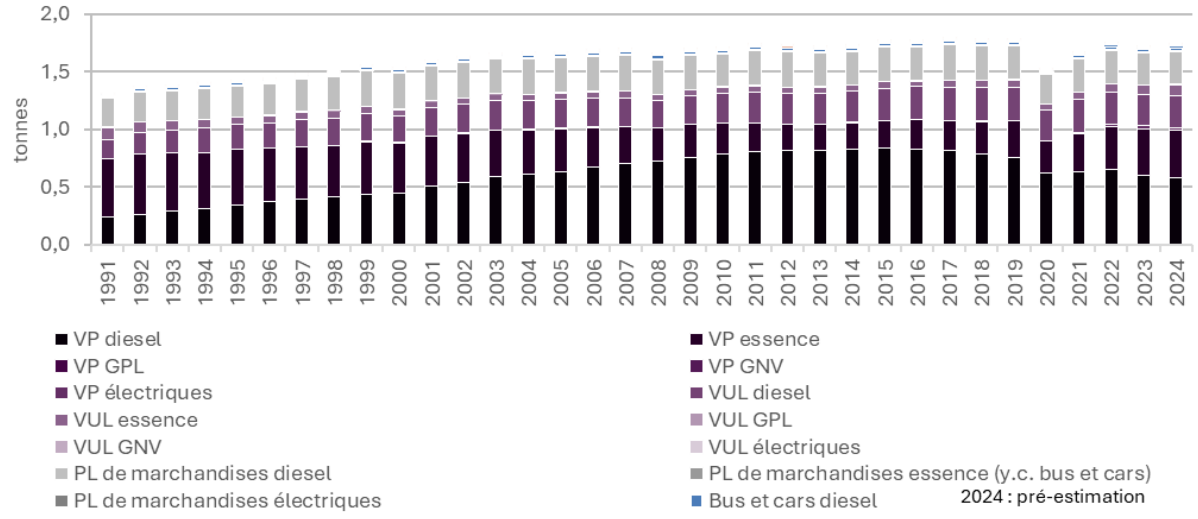
Evolution en base 100 de plusieurs métaux lourds par sous-secteur des transports

As | Arsenic

Les émissions d'arsenic (As) du secteur des transports sont dues essentiellement à l'abrasion issue du transport routier et plus précisément de l'usure du revêtement routier.

Dans les autres modes de transport, le transport maritime contribue presque exclusivement aux émissions d'As. Sur l'ensemble de la période, les émissions ont baissé du fait de la diminution des consommations de fioul lourd pour le transport

domestique, progressivement remplacé par du Diesel Marine Léger (DML).

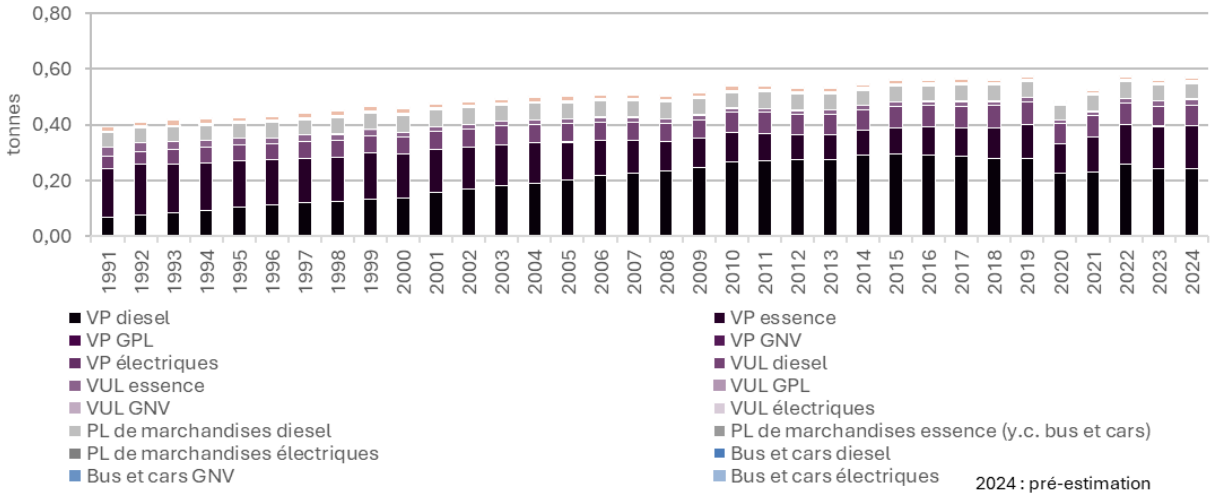


Evolution des émissions dans l'air d'As du secteur du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Cd | Cadmium

Les émissions de cadmium (Cd) du transport sont essentiellement dues à la combustion de l'huile dans le transport routier. Elles suivent l'évolution du trafic routier.

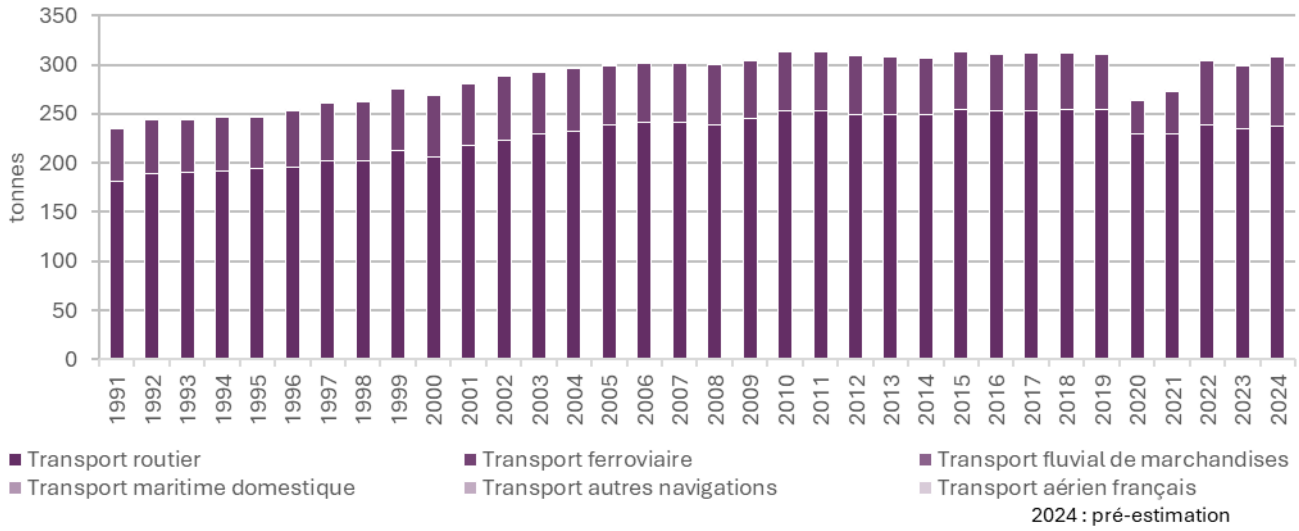
Dans les autres modes de transport, les autres navigations (plaisance) contribuent principalement aux émissions de Cd. L'augmentation est due à l'augmentation de la consommation d'essence et donc de l'huile utilisée dans ces moteurs.



Evolution des émissions dans l'air de Cd du secteur du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Cu | Cuivre

Les rejets de cuivre (Cu) du secteur des transports sont principalement issus, pour le transport routier, des abrasions des freins. Les autres émissions du transport proviennent presque exclusivement de l'abrasion des caténaires dans le transport ferroviaire.

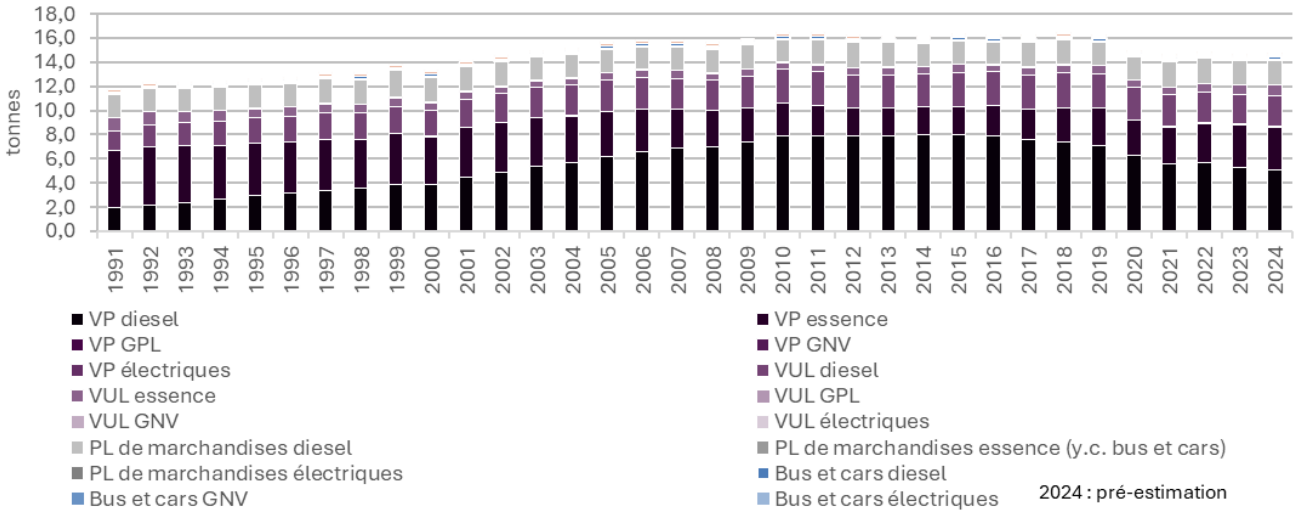


Evolution des émissions dans l'air de Cu du secteur des transports depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Cr | Chrome

Les rejets de chrome (Cr) proviennent essentiellement du transport routier et principalement des émissions dues à la l'abrasion et la combustion de l'huile.

Dans les autres modes de transport, le transport maritime prend plus d'importance vis-à-vis des autres navigations (plaisance), de par la consommation du fioul lourd dans le maritime et de la consommation d'huile des moteurs essence dans la plaisance.

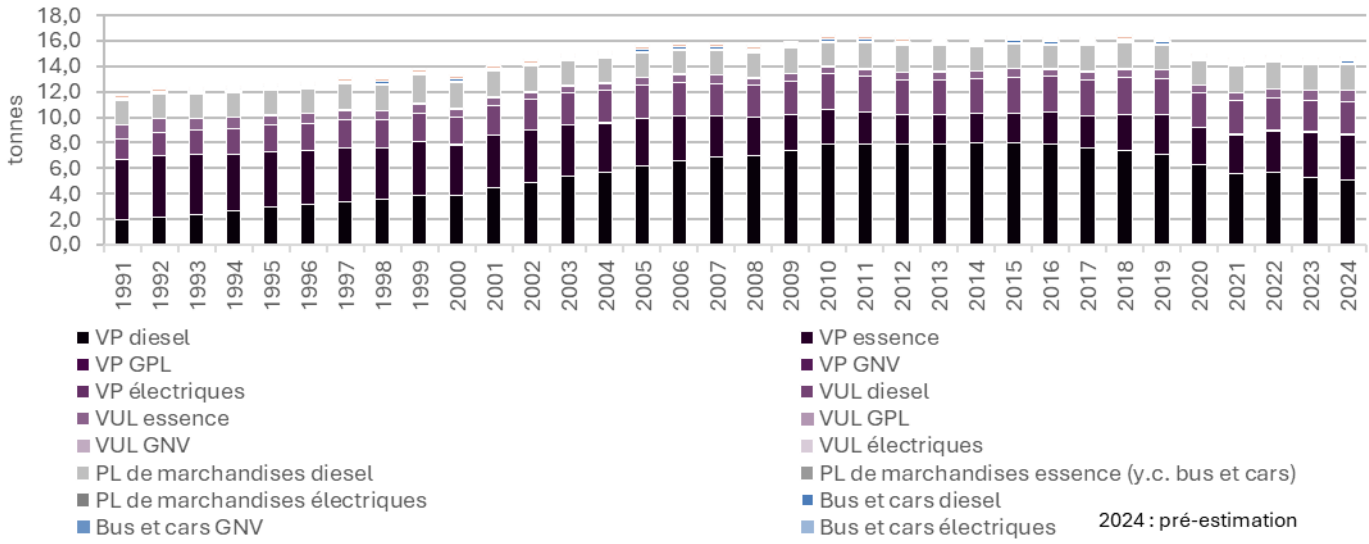


Evolution des émissions dans l'air de Cr du secteur du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

Ni | Nickel

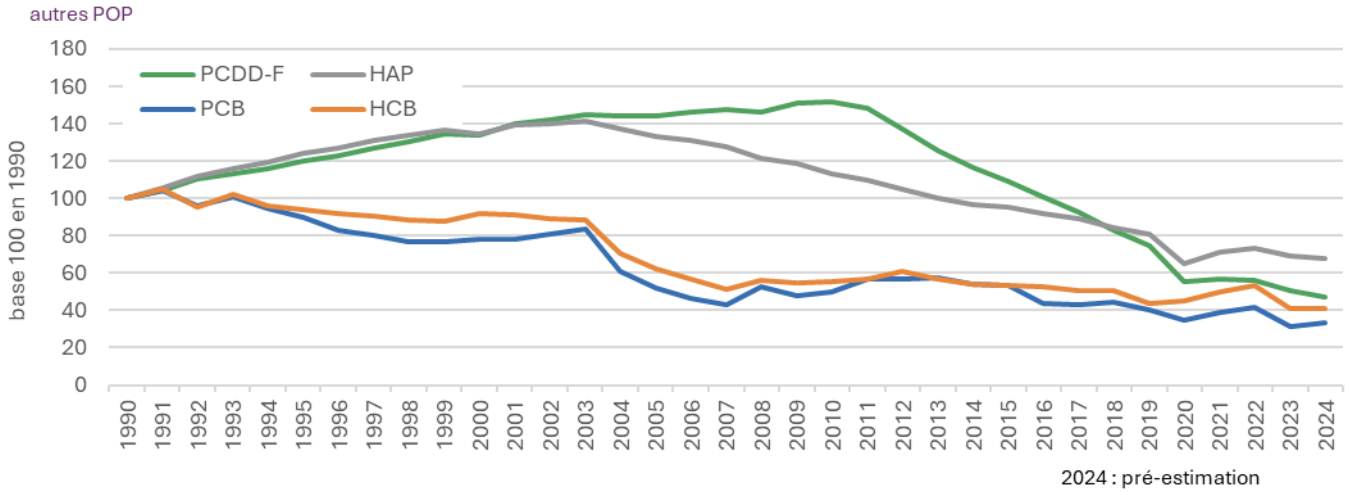
Les émissions de nickel (Ni) du secteur des transports sont essentiellement dues à l'abrasion et à la consommation de lubrifiant dans le transport routier. La diminution de l'usage du fioul lourd dans le secteur maritime entraine la baisse des émissions de Ni dans ce secteur. Ces émissions contribuent à hauteur de 29% au total de la France métropolitaine.

Au début des années 90, environ ¾ des émissions de nickel du transport étaient attribuées au transport maritime. Cette part a été, au cours du temps, substituée par le trafic routier qui a augmenté depuis 1990 et par le trafic maritime national qui a baissé sur cette même période.



Evolution des émissions dans l'air de Ni du secteur des transports depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

POP | Polluants organiques persistants



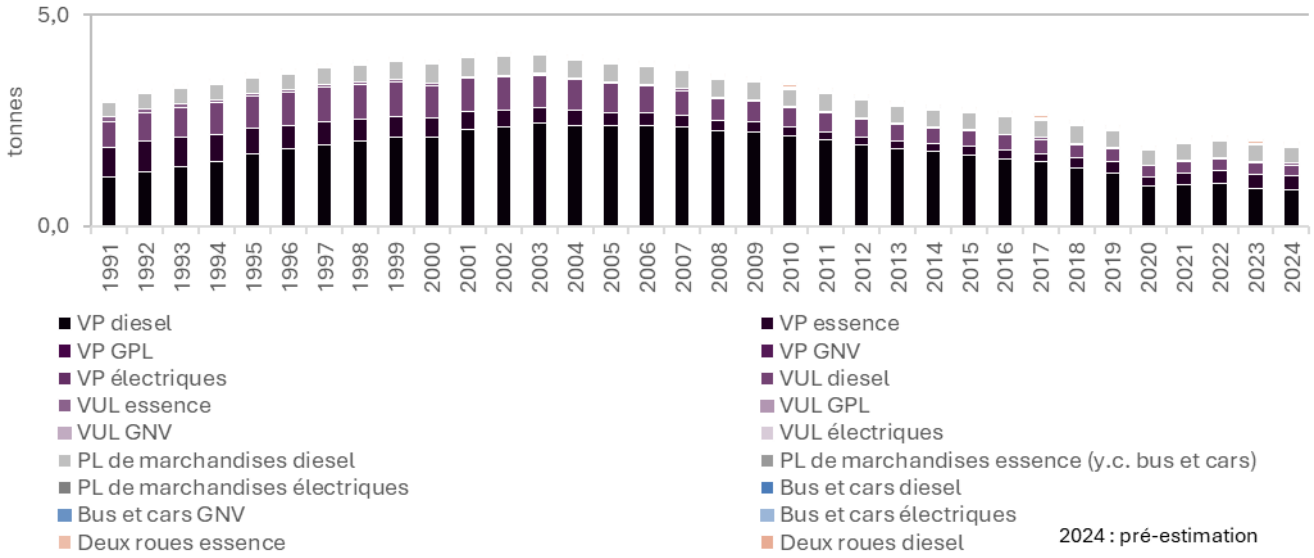
Evolution relative des émissions du secteur des transports des POP en France (Métropole) (base 100 en 1990)

HAP | Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les émissions de HAP du secteur des transports proviennent presque exclusivement du transport routier (combustion et abrasion des pneumatiques, des freins et de l'usure des routes).

Les émissions totales de HAP du transport routier (provenant de l'abrasion et de la combustion) sont principalement induites par les véhicules Diesel.

Les émissions du transport routier ont atteint le maximum en 2003 du fait de la croissance du trafic et de la forte pénétration des véhicules Diesel dans le parc. Les émissions diminuent depuis et devraient continuer dans ce sens dans les années à venir grâce aux améliorations technologiques, notamment l'introduction des moteurs Diesel à injection directe à partir de la norme Euro 2 ou bien celle des FAP, et par l'application de la directive REACH (*Reach Evaluation Authorization and Restriction of Chemicals*) qui interdit l'utilisation d'huile dans la fabrication des pneus depuis 2010.



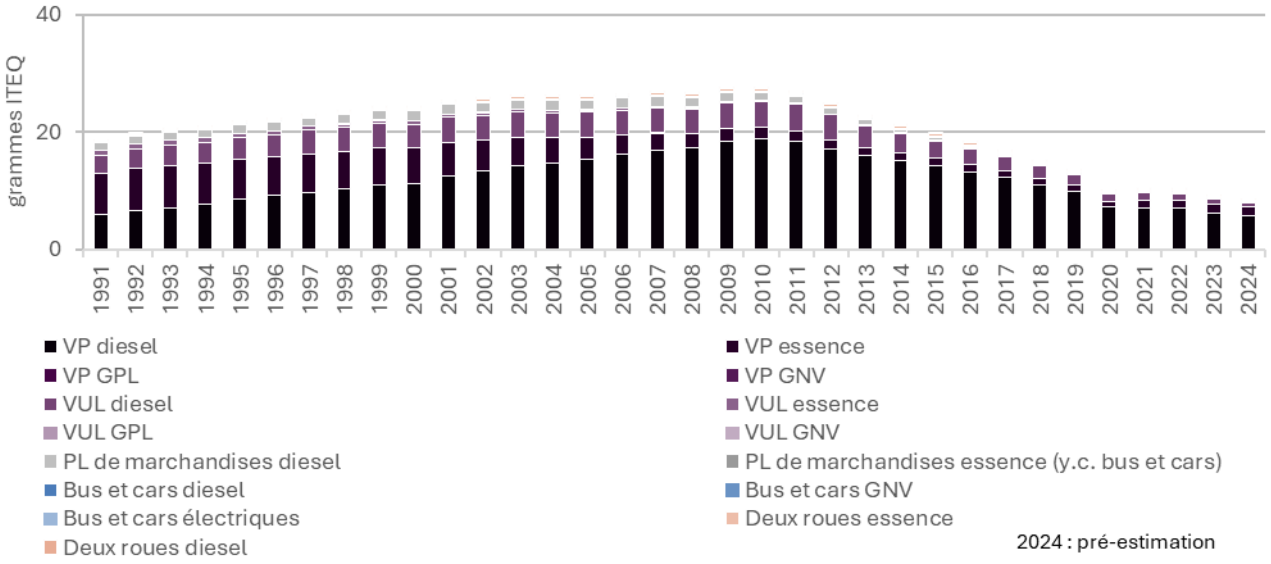
Evolution des émissions dans l'air de HAP du secteur du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

PCDD-F | Dioxines et furanes

Les émissions des dioxines et furanes du secteur des transports proviennent presque exclusivement du transport routier. Ces émissions ne sont induites que par la combustion (aucune émission liée à l'abrasion).

Dans le transport routier, les émissions de PCDD-F sont principalement dues aux véhicules Diesel. Les émissions du transport ont augmenté depuis 1990, du fait de la croissance du trafic et de la forte pénétration des véhicules Diesel dans le parc. Le maximum a été atteint en 2010. Depuis, avec l'entrée en vigueur de la norme Euro 5 cette même année, une décroissance quasi linéaire des émissions est observée. La mise en place de norme d'émissions plus performantes devrait accélérer la décroissance des émissions dans les années à venir.

Malgré une hausse des émissions des autres navigations, la baisse de l'activité maritime domestique influe sur la tendance générale des émissions des autres transports.



Evolution des émissions dans l'air de PCDD-F du secteur du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)

PM | Particules

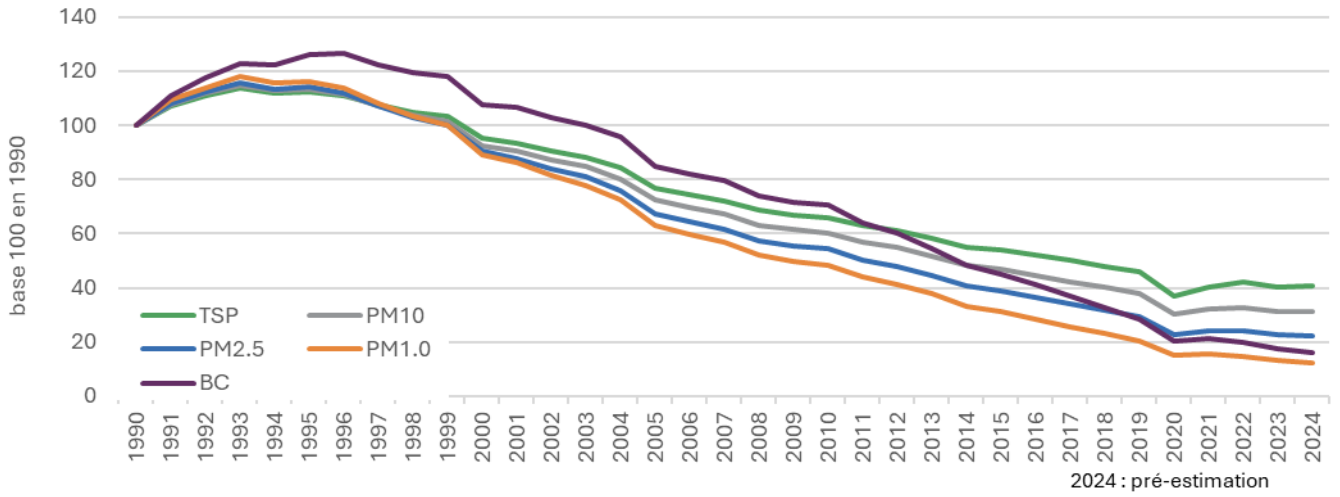
Tendance générale

Les émissions des particules totales en suspension (TSP), des PM_{10}, des $PM_{2,5}$, des $PM_{1,0}$ et du carbone suie (BC) du secteur des transports incluent les émissions de particules à l'échappement des véhicules et celles liées à l'usure des routes, des rails, des pistes d'atterrissage et de certains organes des véhicules tels que les pneumatiques ou les roues et les freins. Pour le ferroviaire, il faut aussi ajouter l'usure des caténaires.

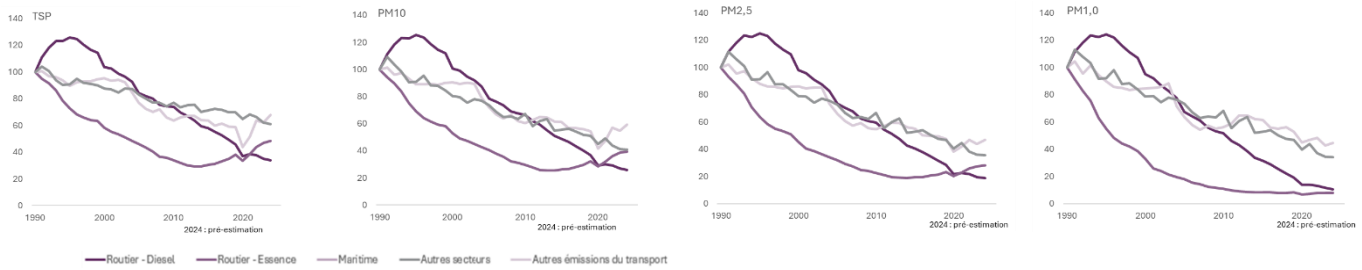
Les émissions de particules et de carbone suie (BC) proviennent essentiellement du transport routier.

Les émissions dues à l'abrasion évoluent avec le trafic depuis 1990, alors que les émissions dues à l'échappement sont en régression depuis 1993, en raison d'une meilleure gestion de la combustion, de la limitation du soufre dans les carburants au fil des règlementations et de la mise en place des filtres à particules depuis 2010 (PL) et 2011 (VP et VUL). À cela s'ajoute également le fait que, selon la granulométrie, la contribution des émissions liées à l'abrasion n'est pas la même. La hausse du trafic, associée à la diminution des particules à l'échappement des véhicules amène désormais à s'intéresser davantage aux particules hors échappement. En effet, ces dernières représentaient en 1990 16% du total des PM_{10} émises par le transport routier contre 73% en 2023. Au niveau des $PM_{2,5}$, 9,1% du total était associé aux particules hors échappement en 1990 contre 62% en 2023.

Concernant les autres secteurs, le second pôle d'émissions de TSP est attribué au transport ferroviaire lequel est principalement représenté par l'usure des freins, des roues, des rails et des caténaires. Enfin, les réglementations successives sur la teneur en soufre des combustibles marins ont engendré des co-bénéfices sur le plan des particules puisque ces dernières se composent d'une fraction de SO_4, qui a diminué au cours du temps proportionnellement avec la teneur en soufre dans le carburant.

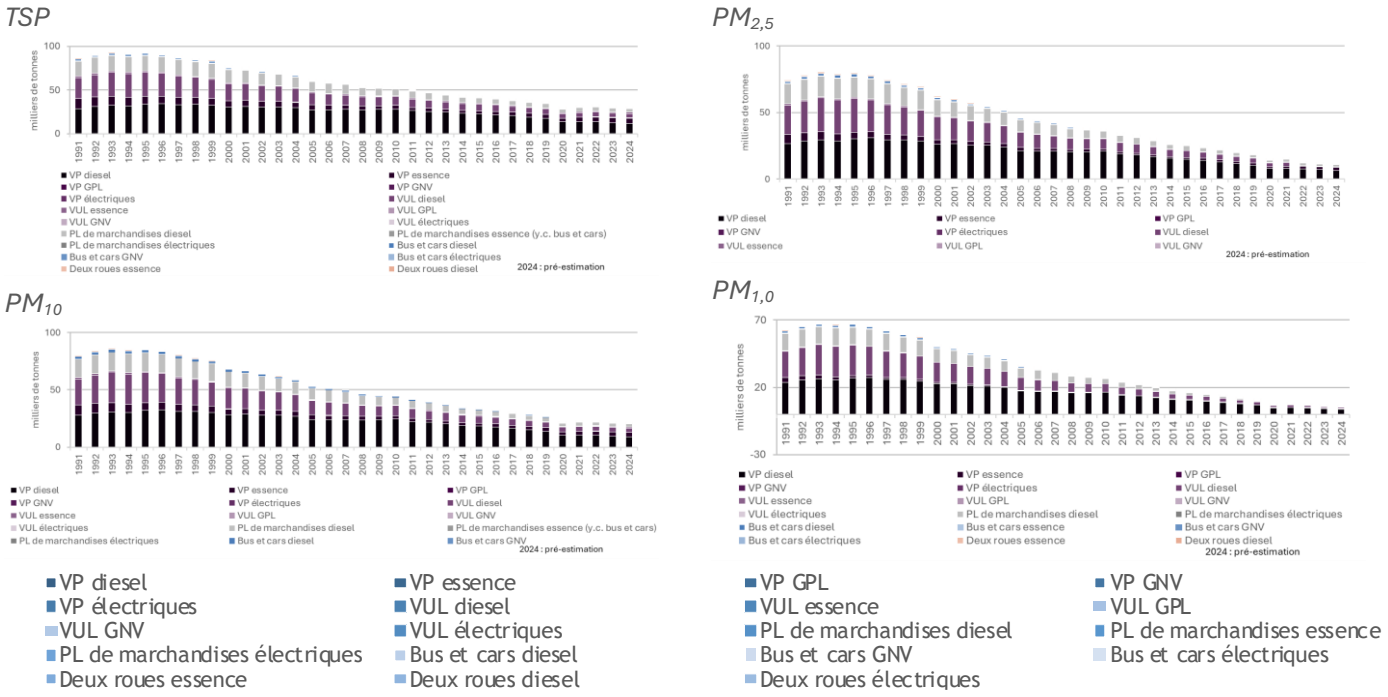


Evolution des émissions dans l'air des particules du secteur des transports depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE)



Evolution en base 100 des particules par sous-secteur des transports

Emissions particules du transport routier depuis 1990 en France (Métropole et Outre-mer UE), en milliers de tonnes



L'utilisation des agro-carburants dans les transports

Les agro-carburants utilisés dans le secteur des transports proviennent des filières suivantes :

- le bio-gazole, composé de différents EMAG — ester méthylique d'acides gras (agro-carburant de 1re génération), et de bio-gazole de synthèse.
- la bio-essence, produit à partir de betterave, de canne à sucre ou de céréales (agro-carburant de 1re génération).
- Le biogaz, produit à partir de méthanisation de la matière organique. Cela peut être des déchets agricoles (déjections animales, résidus de récoltes comme les pailles, etc.), des déchets verts (tontes de gazon, etc.), des déchets d'industries agroalimentaires (abattoirs, vignes, laiteries, etc.) ou encore des boues de stations d'épuration. Le biogaz, issu de cette réaction est ensuite épuré afin d'obtenir un biométhane de qualité équivalente à celle du gaz naturel et miscible avec ce dernier.
- Le bio-kérosène, composé aujourd'hui d'acides gras et d'esters hydro-traités.

Les agro-carburants de 2e génération, également sous forme de bio-gazole et de bio-essence, seront produits à partir de matières ligno-cellulosiques (bois, paille, résidus de bois, déchets végétaux, etc.).

Ces deux agro-carburants, bio-gazole et bio-essence, sont en général utilisés en mélange avec respectivement le gazole et l'essence. L'intérêt de l'utilisation des agro-carburants vis-à-vis de la problématique du changement climatique est qu'ils représentent une source d'énergie renouvelable. En particulier, leurs émissions de CO_2, au niveau du bilan des inventaires d'émission de gaz à effet de serre, sont neutres (cycle du carbone à rotation rapide). En effet, l'hypothèse de la compensation des émissions de CO_2 liées à la combustion des agro-carburants avec leur captage par les cultures est faite. Une légère différence est observée entre le total Citepa et celui du SDeS (DGEC). Cela s'explique d'une part, par l'application de valeurs pour le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) différentes et d'autre part, par le fait que le Citepa considère que les EMAG, constituant du bio-gazole, n'est pas à 100% d'origine biogénique (l'estérification conduit à ce qu'une part de carbone fossile se retrouve dans le bio-gazole). Il y a aussi un risque de double comptage de certains agro-carburants.

Bien que la part des véhicules GNV représente qu'une faible partie de la consommation totale d'énergie du secteur des transports, il existe depuis 2012, un taux d'incorporation de biométhane dans le GNV, croissant au fil du temps et atteignant en 2023 2,41%. Un objectif de consommation de biométhane à hauteur de 10% de la consommation d'énergie finale du GNV est fixé à horizon 2030.

Depuis 2022, le secteur aérien au départ de la France incorpore une part de bio-kérosène (0,49% en 2023). Des objectifs de consommation de bio-kérosène à hauteur de 2% en 2025 et 5% en 2030 de la consommation d'énergie finale du kérosène sont fixés.

La part des agro-carburants dans les carburants commercialisés en France s'est accrue depuis le début des années 1990, et a, surtout depuis 2006, un impact significatif sur les émissions de CO_2.

La taxe incitative relative à l'utilisation d'énergie renouvelable dans le transport (TIRUERT), prévue par l'article 266 quindecies du code des douanes, constitue une taxe à finalité spécifique telle que définie au 2 de l'article 1er de la directive 2008/118/CE relative au régime général d'accise. La TIRUERT est la nouvelle dénomination, applicable depuis le 1er janvier 2022, de l'ancienne taxe incitative relative à l'incorporation de biocarburants (TIRIB) qui remplaçait elle-même la « TGAP carburants » depuis le 1er janvier 2019.

Elle fixe un objectif d'utilisation d'énergie renouvelable dans le transport au-delà duquel le montant dû au titre de cette taxe est nul pour le redevable. Il s'agit d'un mécanisme incitatif dont l'objectif principal n'est pas le paiement de la taxe mais qui vise à induire une modification du comportement des redevables (principalement les dépôts pétroliers), pour améliorer l'utilisation d'énergie renouvelable dans le transport.

Par ailleurs, la directive 2015/1513 dite « CASI » (Changement d'Affectation des Sols Indirect) impose que les états fixent un objectif d'incorporation de biocarburants avancés. La prise en compte de cet objectif est progressivement intégrée dans la taxe.

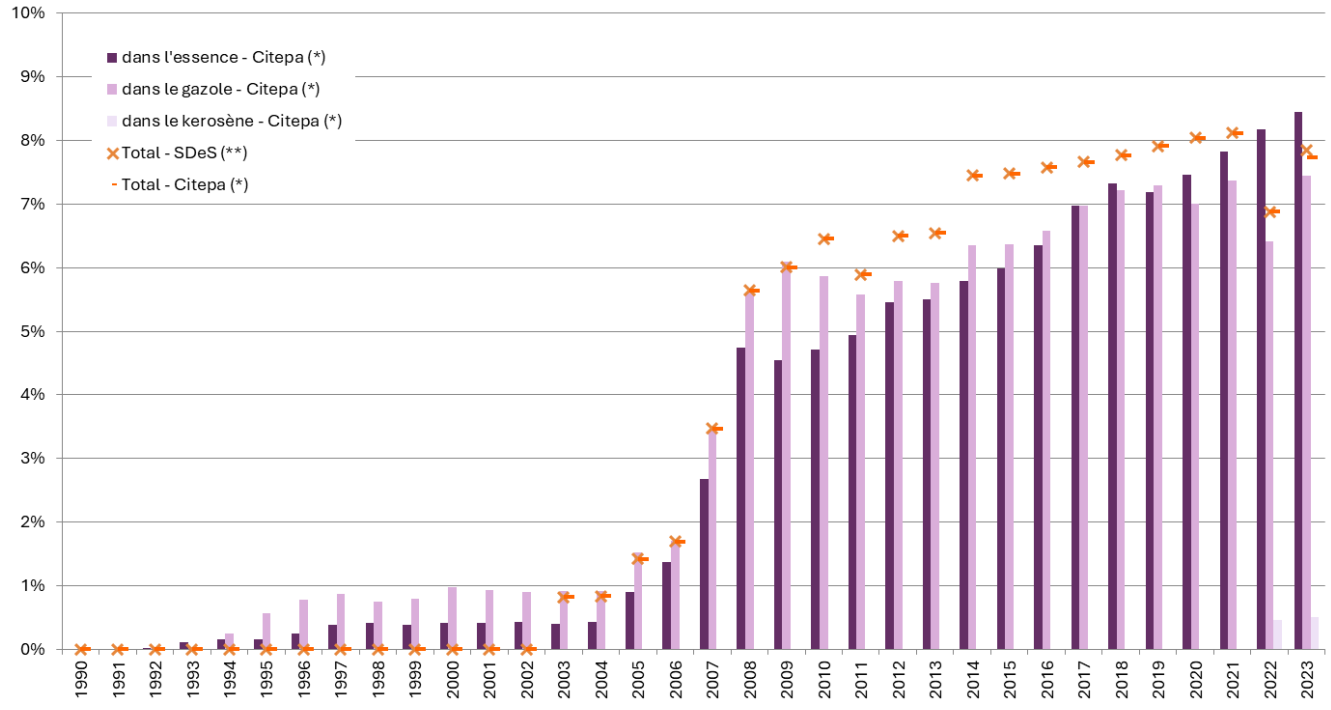
% énergétique	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
dans l'essence	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,50%	7,50%	7,90%	8,20%	8,60%	9,20%	9,50%
dans le gazole	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,70%	7,70%	7,70%	7,70%	7,70%	7,90%	8,00%	8,00%	8,15%	8,60%
dans le kérosène														1,00%	1,00%

Objectifs d'incorporation de biocarburants (part énergétique) à partir de 2009

% énergétique	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
dans l'essence - Citepa (*)	-	0,15%	0,42%	0,90%	4,71%	5,98%	6,36%	6,98%	7,33%	7,20%	7,46%	7,82%	8,17%	8,45%
dans le gazole - Citepa (*)	-	0,57%	0,97%	1,52%	5,86%	6,36%	6,59%	6,97%	7,21%	7,29%	7,01%	7,37%	6,41%	7,45%
Total - Citepa (*)	nd	nd	nd	1,42%	6,45%	7,48%	7,58%	7,67%	7,77%	7,92%	8,04%	8,12%	6,88%	7,74%
Total - SDeS (**)	nd	nd	nd	1,42%	6,45%	7,48%	7,58%	7,67%	7,77%	7,92%	8,04%	8,12%	6,88%	7,84%

(*) : calculs effectués par le Ci (**) : Valeurs fournies par le SDeS

Part des agrocarburants en France



Part des agrocarburants en France

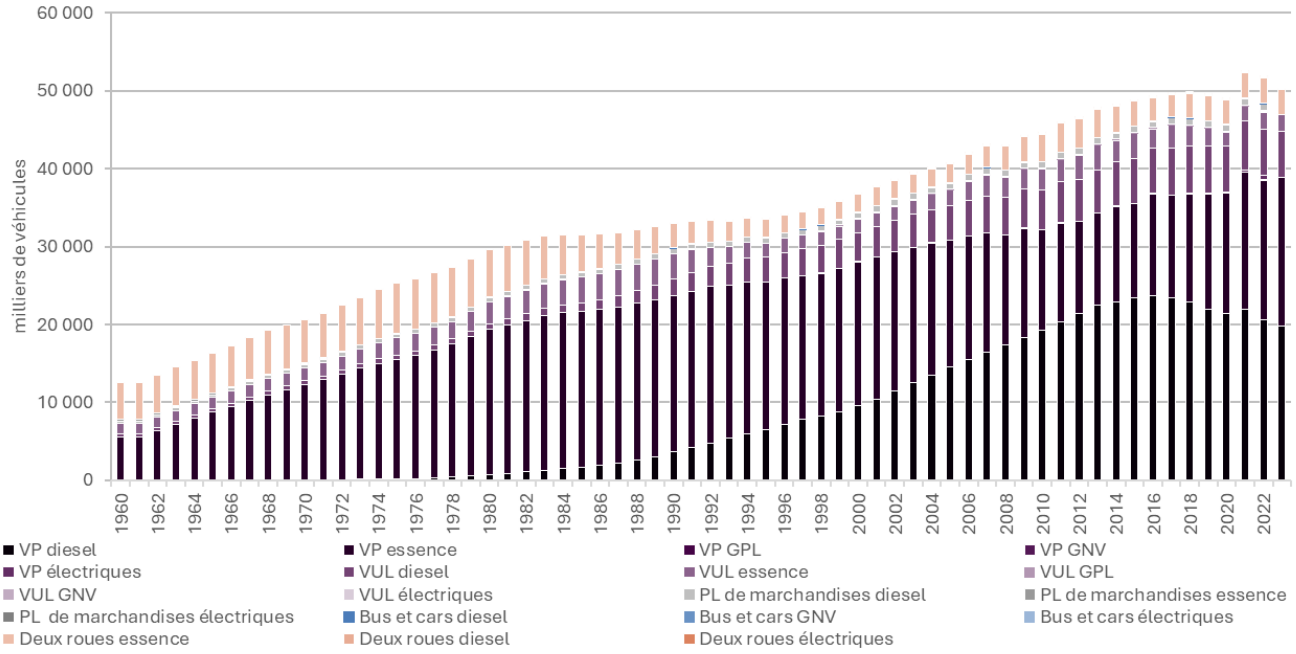
Rétrospective du parc routier depuis 1960

Le panorama historique du transport routier et de ses rejets atmosphériques depuis 1960 permet de comprendre l'évolution et l'importance de ce secteur.

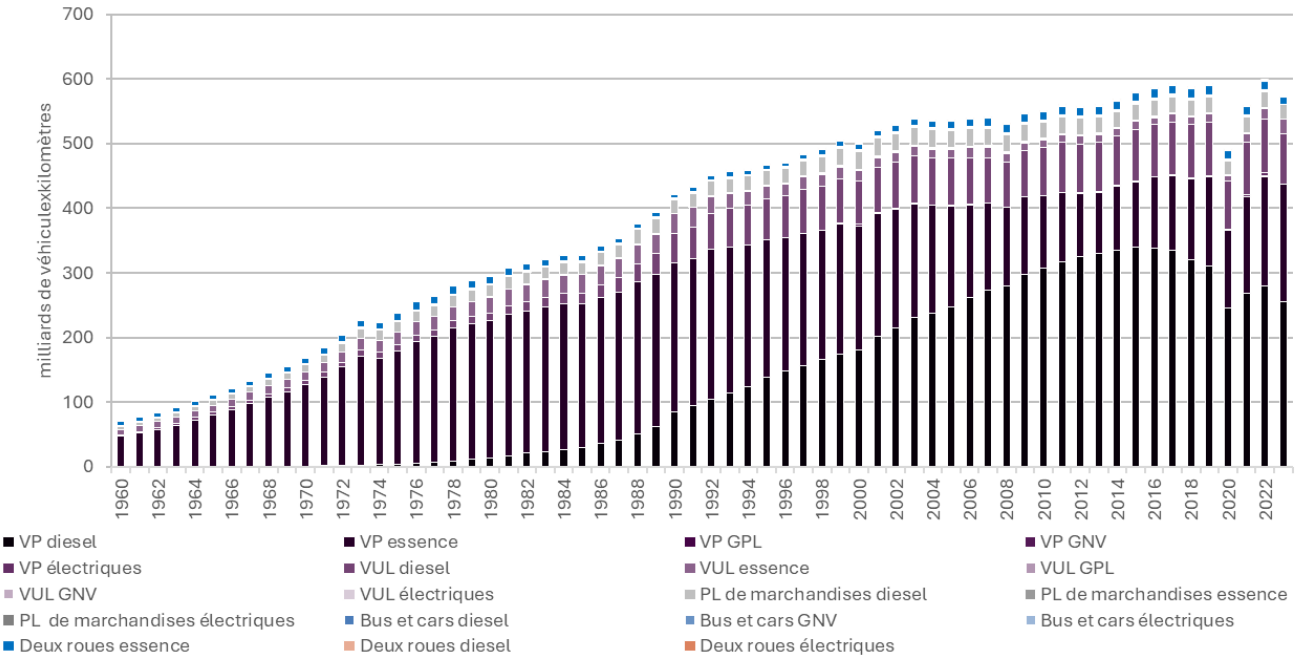
Le parc statique (en nombre de véhicules) et le parc roulant (en véhicules x km) sont globalement en croissance constante depuis plus d'un demi-siècle.

Le parc roulant (cf. graphique ci-dessous et page suivante), paramètre déterminant des rejets de polluants, a connu des croissances annuelles différentes en fonction des périodes.

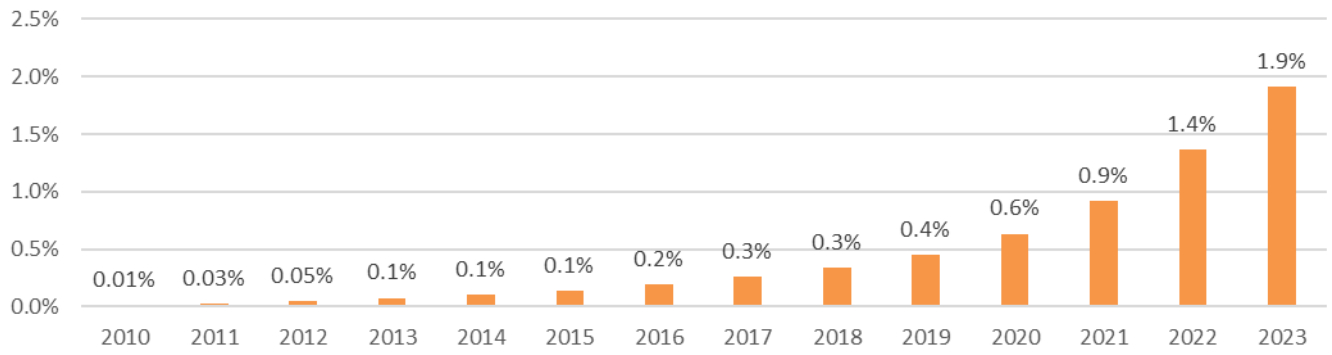
N. B. : le parc roulant pris en compte est un parc roulant dont les consommations sont recalées sur les ventes françaises de carburants à l'usage du transport routier (du fait des règles comptables internationales relatives aux inventaires d'émission).



Evolution du nombre de véhicules depuis 1960 ayant réalisé une prise carburant en France (Métropole)



Evolution du trafic de véhicules depuis 1960 ayant réalisé une prise carburant en France (Métropole)



Part des véhicules électriques dans le total du parc roulant

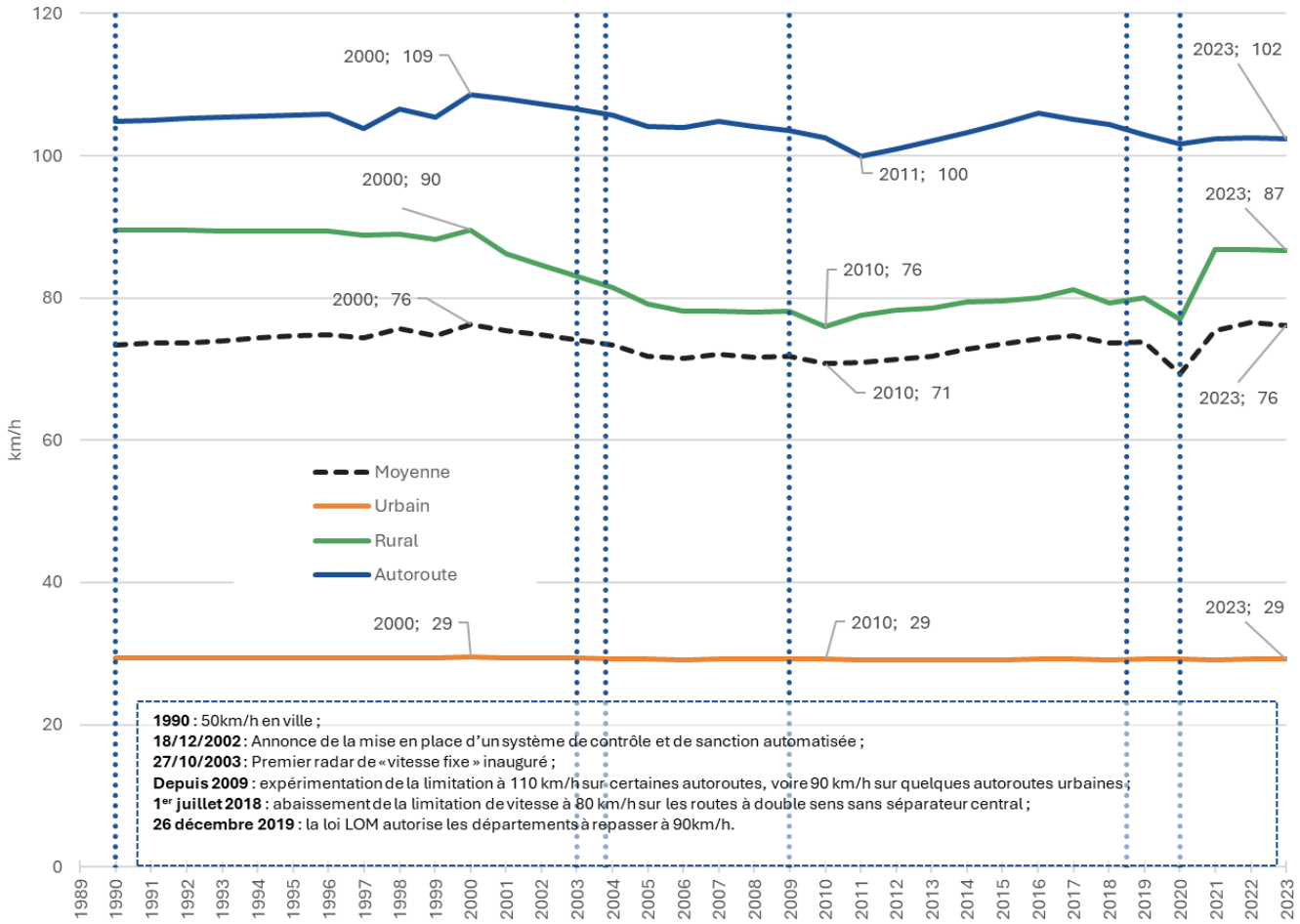
Les évolutions des émissions de polluants n'ont pas connu la même progression que celle du trafic. Cela est dû à l'évolution de la structure du parc, aux progrès technologiques et aux durcissements successifs imposés par les normes environnementales européennes (ex : normes Euro).

L'effet antagoniste entre, d'une part, la croissance du parc roulant et, d'autre part, les progrès technologiques et/ou durcissement des normes et/ou changement de structure (diésélisation du parc) font apparaître des maximums de niveaux d'émissions qui varient selon le polluant considéré.

L'introduction du pot catalytique à partir de 1993 et 1997, respectivement pour les véhicules légers (VP, VUL) essence et Diesel, a permis d'accélérer les réductions d'émissions des polluants comme les NOx (essence seulement), le CO et les COVNM.

Quant au CO_2 (d'origine fossile), après une croissance constante et forte des émissions depuis 1960, un ralentissement et une inflexion de cette tendance a eu lieu autour de 2002. Depuis 2004, ces émissions de CO_2 sont même clairement en baisse. Ce changement de tendance s'explique par différentes raisons concourantes :

- Les progrès technologiques :
  - Règlement CE n° 443/2009 : objectif de 95 g CO_2/km pour les VP neufs à atteindre en 2021 par les constructeurs,
  - Règlement CE n° 510/2011 : objectif de 147 g CO_2/km pour les VUL neufs à atteindre en 2020 par les constructeurs.
  - Règlement UE 2019/631 :
    - objectifs des VP neufs de (sur cycle WLTC)
      - 115,1 g CO_2/km pour 2020-2024, puis
      - 93,6 g CO_2/km pour 2024-2029 et enfin
      - 49,5 g CO_2/km pour 2030-2034
    - objectifs des VUL neufs de (sur cycle WLTC)
      - 189,9,1 g CO_2/km pour 2020-2024, puis
      - 153,9 g CO_2/km pour 2024-2029 et enfin
      - 90,6 g CO_2/km pour 2030-2034
- Le changement de structure du parc (par exemples, mise en place de bonus/malus certaines années, de la prime à la casse de décembre 2007 au 1er janvier 2012),
- Le contrôle des vitesses (voir graphique ci-dessous) ;

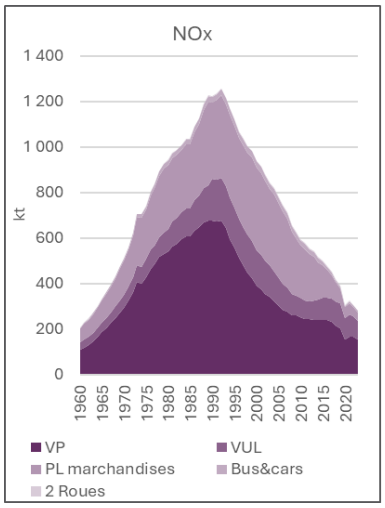


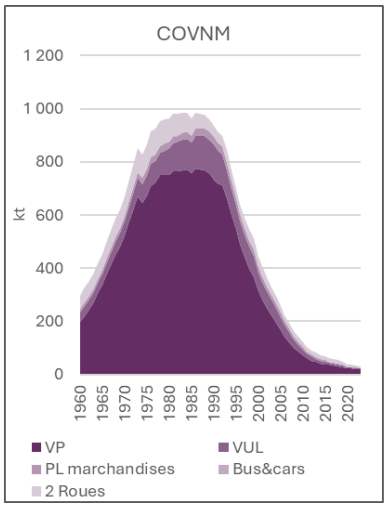
Evolution des vitesses moyennes tous véhicules confondus par type de réseau routier

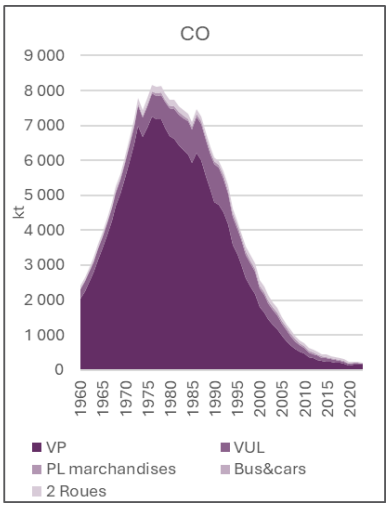
Parmi toutes les mesures de limitation implémentées depuis 1990, il semblerait que c'est la mise en place des contrôles de vitesse automatisés au début des années 2000 qui a engendré une baisse de la vitesse moyenne d'environ 9% entre 2000 et 2011. A noter que le niveau de vitesse moyenne de l'an 2000 est à nouveau atteint en 2022 et 2023.

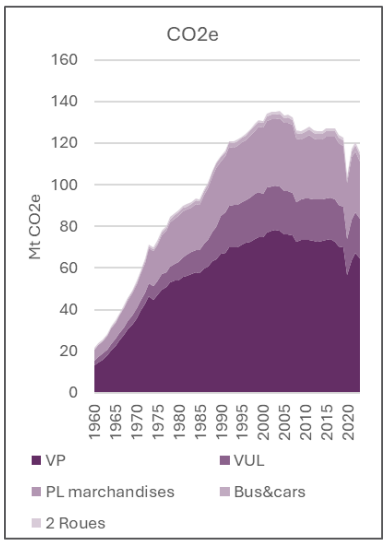
Les métaux lourds présentent des maximums très variables qui s'expliquent par différentes raisons. La tendance du plomb, qui présente un maximum en 1969 suivi d'une forte diminution et une seconde vers 1989, s'explique par la législation limitant le plomb dans les combustibles, puis interdisant l'essence plombée en 2000. À l'inverse, il apparait que les émissions d'As, de Cr, de Cu et de Zn continuent d'augmenter ou se stabilisent mais ne diminuent pas, en raison de leur origine provenant largement de l'abrasion.

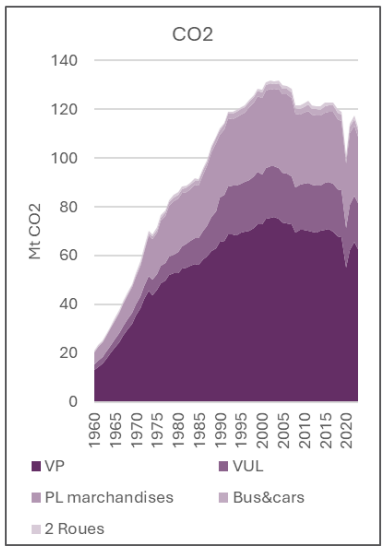
Les particules, quelle que soit leur granulométrie, présentent des maximums aux alentours de 1995, après cette date, les émissions décroissent pour toutes les classes de véhicules considérées. Enfin, les émissions de HAP diminuent depuis 2002, ce qui correspond à la présence d'une part importante de véhicules Diesels équipés de moteur à injection directe, les premiers modèles datant de 1998.

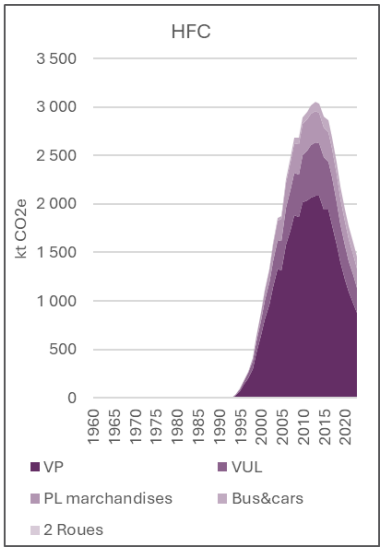

NOx
kt
1 400
1 200
1 000
800
600
400
200
0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

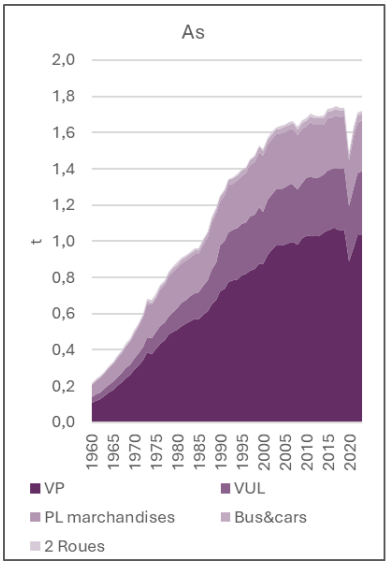

COVNM
kt
1 200
1 000
800
600
400
200
0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

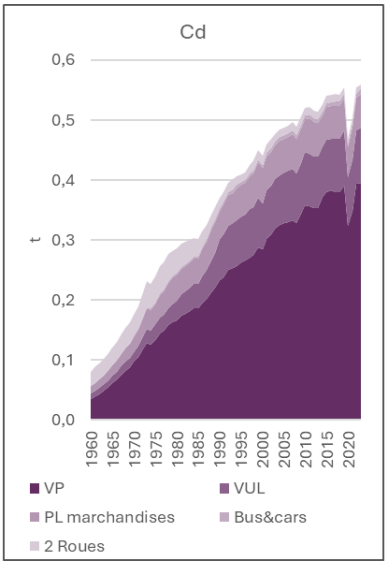

CO
kt
9 000
8 000
7 000
6 000
5 000
4 000
3 000
2 000
1 000
0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

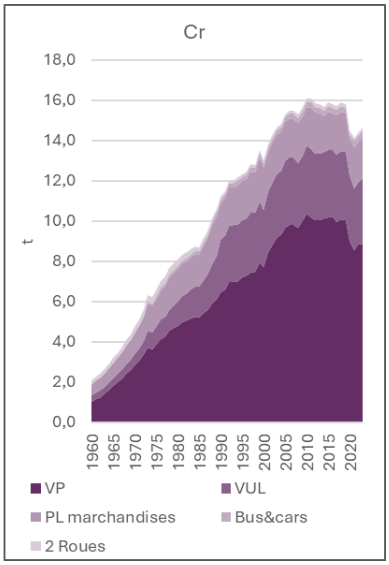

CO2e
Mt CO2e
160
140
120
100
80
60
40
20
0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

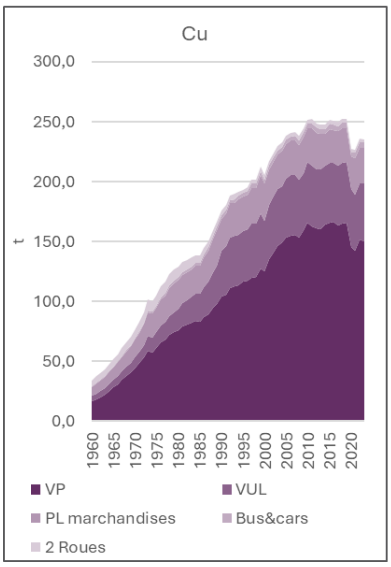

CO2
Mt CO2
140
120
100
80
60
40
20
0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

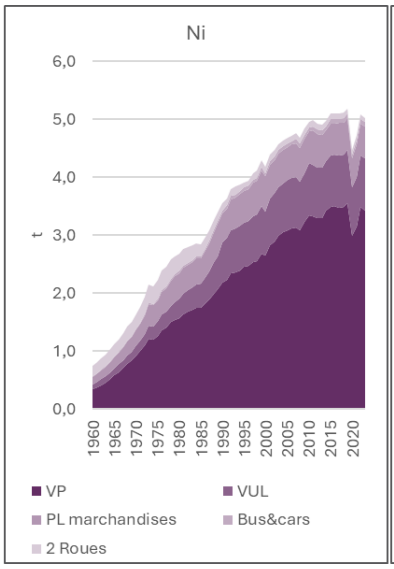

HFC
kt CO2e
3 500
3 000
2 500
2 000
1 500
1 000
500
0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

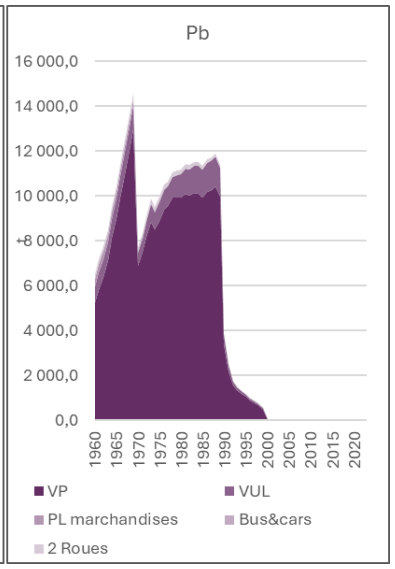

As
t
2,0
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

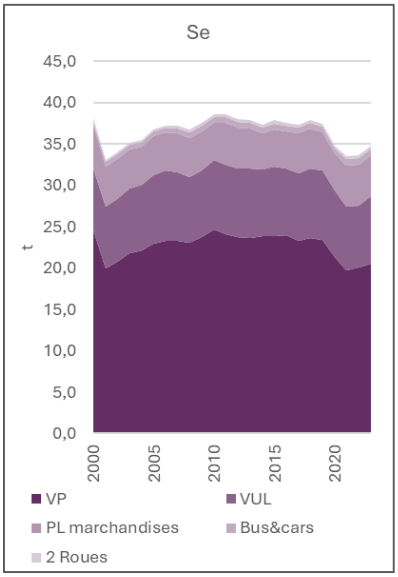

Cd
t
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

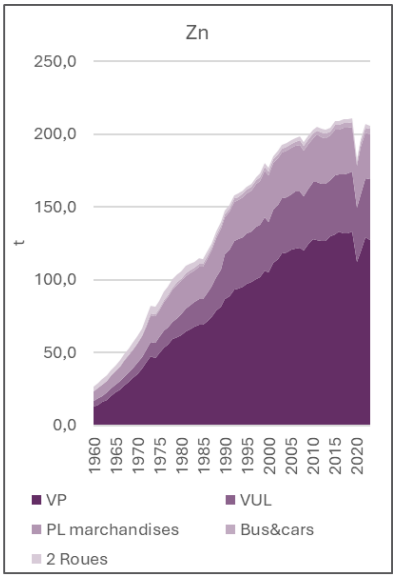

Cr
t
18,0
16,0
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

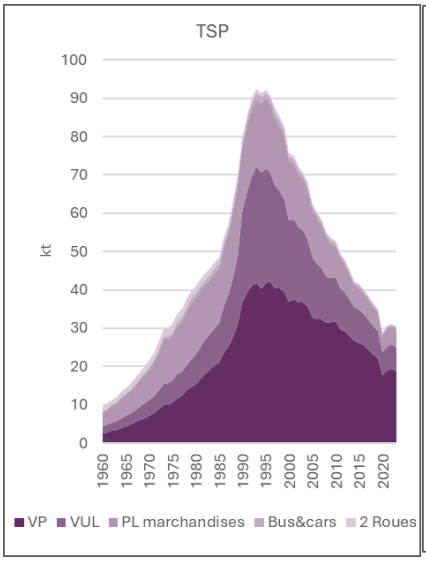

Cu
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
t
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

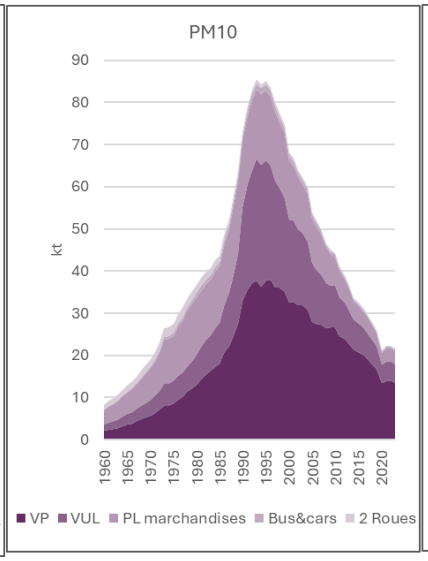

Ni
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
t
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

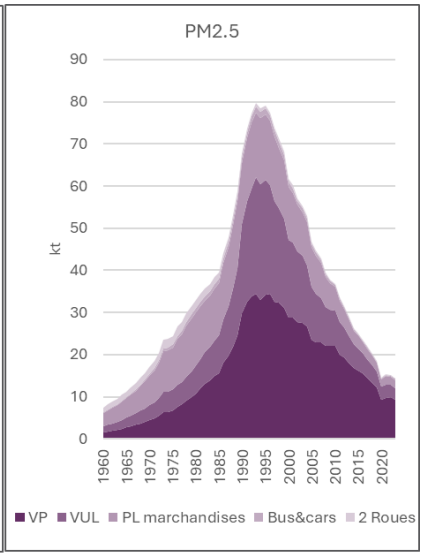

Pb
16 000,0
14 000,0
12 000,0
10 000,0
8 000,0
6 000,0
4 000,0
2 000,0
0,0
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues

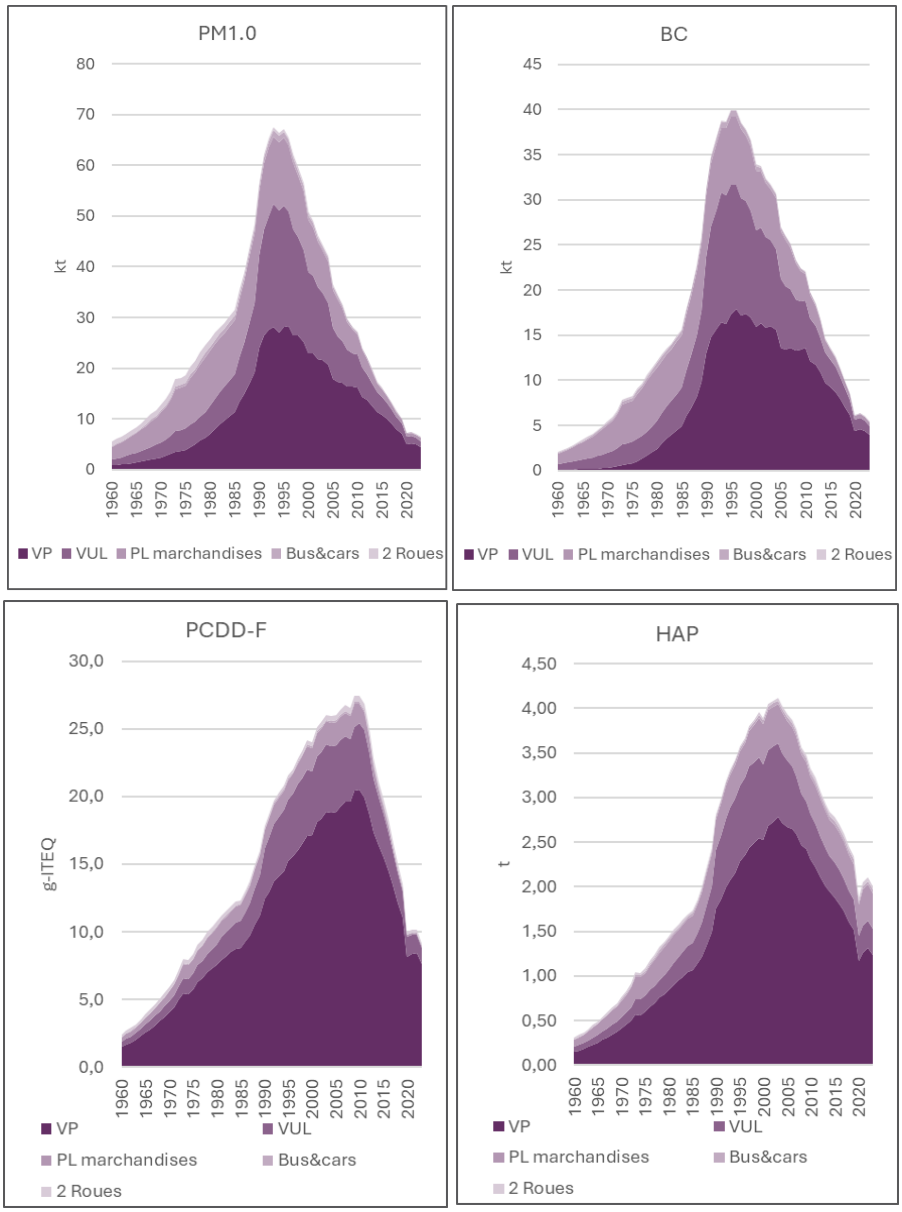

Se
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
t
2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues


Zn
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
t
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues


TSP
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
kt
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues


PM10
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
kt
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues


PM2.5
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
kt
1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020
VP
VUL
PL marchandises
Bus&cars
2 Roues



Transport de marchandises et transport de voyageurs

Dans les tableaux relatifs aux émissions par polluant, les résultats pour les poids lourds (PL) ne sont présentés qu'en fonction de la motorisation (essence, Diesel, GNV ou électrique). Les tableaux qui suivent présentent les pourcentages d'émissions à appliquer aux émissions des PL (comprenant le transport de marchandises par camions et tracteurs routiers, et le transport de voyageurs par cars et bus) afin de distinguer celles relatives au transport de marchandises de celles relatives au transport de voyageurs. Les émissions des VP, VUL et 2 Roues ne sont pas traitées ici.

Périmètre	Substance		Secteur	*Unité*	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Métropole et Outre-mer UE	GES	CO_2e (CO_2, CH_4 et N_2O seulement)	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,1%	92,0%	92,5%	92,6%	91,4%	90,6%	90,5%	90,9%	90,7%	90,5%	91,9%	91,1%	90,3%	89,4%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,9%	8,0%	7,5%	7,4%	8,6%	9,4%	9,5%	9,1%	9,3%	9,5%	8,1%	8,9%	9,7%	10,6%
		CO_2	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,1%	92,0%	92,5%	92,6%	91,4%	90,6%	90,5%	90,9%	90,7%	90,5%	91,9%	91,1%	90,4%	89,4%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,9%	8,0%	7,5%	7,4%	8,6%	9,4%	9,5%	9,1%	9,3%	9,5%	8,1%	8,9%	9,6%	10,6%
		CH_4	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	87,2%	86,8%	87,9%	85,4%	77,2%	57,3%	54,4%	51,9%	48,9%	42,3%	34,3%	29,2%	25,4%	33,2%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	12,8%	13,2%	12,1%	14,6%	22,8%	42,7%	45,6%	48,1%	51,1%	57,7%	65,7%	70,8%	74,6%	66,8%
		N_2O	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	90,9%	90,4%	89,5%	89,9%	91,5%	92,7%	92,4%	92,4%	92,0%	91,9%	93,6%	92,8%	92,1%	91,5%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	9,1%	9,6%	10,5%	10,1%	8,5%	7,3%	7,6%	7,6%	8,0%	8,1%	6,4%	7,2%	7,9%	8,5%

Part des émissions de gaz à effet de serre des poids lourds liées aux marchandises et aux voyageurs (France métropolitaine et Outre-mer inclus dans l'UE)

Périmètre	Substance		Secteur	*Unité*	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Métropole	*AEPP*	SO_2	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,9%	92,8%	93,4%	93,4%	92,3%	91,5%	91,4%	91,7%	91,5%	91,2%	92,4%	91,5%	90,7%	90,0%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,1%	7,2%	6,6%	6,6%	7,7%	8,5%	8,6%	8,3%	8,5%	8,8%	7,6%	8,5%	9,3%	10,0%
		NOx	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	93,1%	92,9%	93,1%	92,8%	91,2%	89,5%	88,8%	88,3%	87,4%	85,7%	86,2%	84,6%	83,1%	85,3%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	6,9%	7,1%	6,9%	7,2%	8,8%	10,5%	11,2%	11,7%	12,6%	14,3%	13,8%	15,4%	16,9%	14,7%
		NH_3	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	91,5%	91,4%	91,9%	91,8%	90,2%	91,1%	90,8%	90,9%	90,7%	90,4%	92,4%	91,7%	91,0%	90,8%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	8,5%	8,6%	8,1%	8,2%	9,8%	8,9%	9,2%	9,1%	9,3%	9,6%	7,6%	8,3%	9,0%	9,2%
		COVNM	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,9%	92,3%	91,5%	91,2%	90,1%	88,6%	88,2%	88,3%	88,2%	87,5%	88,6%	87,4%	86,3%	85,7%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,1%	7,7%	8,5%	8,8%	9,9%	11,4%	11,8%	11,7%	11,8%	12,5%	11,4%	12,6%	13,7%	14,3%
		CO	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,1%	91,7%	91,8%	92,2%	90,8%	88,7%	87,9%	87,3%	86,3%	84,8%	85,5%	83,9%	82,5%	81,8%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,9%	8,3%	8,2%	7,8%	9,2%	11,3%	12,1%	12,7%	13,7%	15,2%	14,5%	16,1%	17,5%	18,2%

Part des émissions de polluants des poids lourds liées aux marchandises et aux voyageurs (France métropolitaine)

Périmètre	Substance		Secteur	*Unité*	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Métropole	*ML*	As	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	91,3%	91,1%	91,6%	91,3%	89,7%	88,9%	88,7%	88,9%	88,7%	88,4%	90,2%	89,2%	88,1%	87,8%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	8,7%	8,9%	8,4%	8,7%	10,3%	11,1%	11,3%	11,1%	11,3%	11,6%	9,8%	10,8%	11,9%	12,2%
		Cd	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	91,1%	90,7%	90,9%	90,8%	89,3%	88,7%	88,5%	88,7%	88,7%	88,4%	90,1%	89,2%	88,2%	87,8%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	8,9%	9,3%	9,1%	9,2%	10,7%	11,3%	11,5%	11,3%	11,3%	11,6%	9,9%	10,8%	11,8%	12,2%
		Cr	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	90,4%	90,0%	90,2%	89,6%	88,1%	87,1%	86,8%	87,2%	87,3%	86,7%	88,7%	87,6%	86,5%	86,2%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	9,6%	10,0%	9,8%	10,4%	11,9%	12,9%	13,2%	12,8%	12,7%	13,3%	11,3%	12,4%	13,5%	13,8%
		Cu	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	90,4%	90,0%	90,2%	89,7%	88,2%	87,2%	86,9%	87,3%	87,3%	86,8%	88,8%	87,7%	86,6%	86,2%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	9,6%	10,0%	9,8%	10,3%	11,8%	12,8%	13,1%	12,7%	12,7%	13,2%	11,2%	12,3%	13,4%	13,8%
		Hg	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,9%	92,8%	93,4%	93,5%	92,5%	92,3%	92,3%	92,6%	92,6%	92,7%	94,3%	93,9%	93,5%	93,3%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,1%	7,2%	6,6%	6,5%	7,5%	7,7%	7,7%	7,4%	7,4%	7,3%	5,7%	6,1%	6,5%	6,7%
		Ni	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	90,8%	90,4%	90,6%	90,4%	88,9%	88,1%	87,8%	88,1%	88,1%	87,8%	89,6%	88,5%	87,5%	87,0%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	9,2%	9,6%	9,4%	9,6%	11,1%	11,9%	12,2%	11,9%	11,9%	12,2%	10,4%	11,5%	12,5%	13,0%
		Pb	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	90,9%	90,2%	90,1%	89,5%	87,9%	86,9%	86,5%	87,0%	87,1%	86,5%	88,5%	87,3%	86,2%	86,1%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	9,1%	9,8%	9,9%	10,5%	12,1%	13,1%	13,5%	13,0%	12,9%	13,5%	11,5%	12,7%	13,8%	13,9%
		Se	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,0%	91,7%	92,0%	92,0%	90,7%	90,2%	90,0%	90,3%	90,3%	90,0%	91,6%	90,7%	89,8%	89,2%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	8,0%	8,3%	8,0%	8,0%	9,3%	9,8%	10,0%	9,7%	9,7%	10,0%	8,4%	9,3%	10,2%	10,8%
		Zn	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,1%	92,0%	92,4%	92,3%	91,0%	90,4%	90,2%	90,5%	90,5%	90,2%	91,7%	90,8%	89,9%	89,5%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,9%	8,0%	7,6%	7,7%	9,0%	9,6%	9,8%	9,5%	9,5%	9,8%	8,3%	9,2%	10,1%	10,5%

Périmètre	Substance		Secteur	*Unité*	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Métropole	*POP*	PCDD-F	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,4%	92,8%	93,4%	93,4%	92,3%	91,5%	91,4%	91,7%	91,5%	91,2%	92,4%	91,5%	90,7%	90,0%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,6%	7,2%	6,6%	6,6%	7,7%	8,5%	8,6%	8,3%	8,5%	8,8%	7,6%	8,5%	9,3%	10,0%
		PCB	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	91,5%	92,9%	93,1%	92,8%	91,2%	89,5%	88,8%	88,3%	87,4%	85,7%	86,2%	84,6%	83,1%	85,3%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	8,5%	7,1%	6,9%	7,2%	8,8%	10,5%	11,2%	11,7%	12,6%	14,3%	13,8%	15,4%	16,9%	14,7%
		HAP	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	91,5%	91,4%	91,9%	91,8%	90,2%	89,8%	89,7%	89,9%	89,9%	89,8%	91,9%	91,3%	90,6%	90,5%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	8,5%	8,6%	8,1%	8,2%	9,8%	10,2%	10,3%	10,1%	10,1%	10,2%	8,1%	8,7%	9,4%	9,5%

Périmètre	Substance		Secteur	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Métropole	PM	TSP	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,3%	92,0%	92,0%	92,0%	90,8%	89,8%	89,5%	89,8%	89,9%	89,6%	91,2%	90,5%	89,7%	88,3%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,7%	8,0%	8,0%	8,0%	9,2%	10,2%	10,5%	10,2%	10,1%	10,4%	8,8%	9,5%	10,3%	11,7%
		PM_{10}	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,2%	92,0%	91,9%	91,9%	90,7%	89,4%	89,1%	89,4%	89,5%	89,2%	90,9%	90,1%	89,4%	87,6%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,8%	8,0%	8,1%	8,1%	9,3%	10,6%	10,9%	10,6%	10,5%	10,8%	9,1%	9,9%	10,6%	12,4%
		$PM_{2,5}$	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,3%	92,1%	91,9%	92,0%	90,9%	89,4%	89,2%	89,4%	89,6%	89,4%	91,1%	90,5%	89,9%	87,2%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,7%	7,9%	8,1%	8,0%	9,1%	10,6%	10,8%	10,6%	10,4%	10,6%	8,9%	9,5%	10,1%	12,8%
		$PM_{1,0}$	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,3%	92,1%	91,8%	91,9%	90,9%	88,6%	88,2%	88,3%	88,6%	88,2%	89,9%	89,9%	89,9%	83,3%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,7%	7,9%	8,2%	8,1%	9,1%	11,4%	11,8%	11,7%	11,4%	11,8%	10,1%	10,1%	10,1%	16,7%
		BC	Transport de marchandises (camions et tracteurs routiers)	% PL (y.c.	92,3%	92,2%	92,4%	92,5%	91,1%	88,8%	88,3%	88,3%	88,7%	88,2%	90,0%	90,0%	90,2%	83,0%
			Transport de voyageurs (Bus et cars)	% PL (y.c.	7,7%	7,8%	7,6%	7,5%	8,9%	11,2%	11,7%	11,7%	11,3%	11,8%	10,0%	10,0%	9,8%	17,0%

Emissions internationales du transport, exclues du total national

Certains secteurs ne sont pas comptabilisés dans le total national de la France métropolitaine afin d'être en cohérence avec les spécifications internationales définies, soit par la CCNUCC, soit par la CEE-NU/NEC.

Ainsi, la catégorie de sources « hors total » regroupe les émissions non prises en compte dans les totaux nationaux.

Gaz à effet de serre

Il s'agit, dans le cas des gaz à effet de serre direct (à savoir CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC, SF_6, NF_3) des émissions du trafic maritime international, des émissions des vols internationaux du secteur aérien ainsi que du transport fluvial international.

Polluants atmosphériques

Dans le cas des autres substances, il s'agit des émissions du trafic maritime international et des émissions de la phase croisière (≥ 1 000 m) des vols domestiques et internationaux du secteur aérien.

Les substances pour lesquelles les émissions hors total national représentent plus de 20% des émissions de la France métropolitaine (hors UTCATF), en 2023, sont présentées ci-après.

SO_2

Les émissions de SO_2 du secteur du transport qui ne sont pas comptabilisées dans le total national proviennent très majoritairement du transport maritime international.

La tendance des émissions s'explique par l'évolution des consommations de carburants et la baisse de la teneur en soufre du fioul lourd à la suite de la mise en œuvre de différentes réglementations (MARPOL).

NOx

Les émissions de NOx du secteur du transport qui ne sont pas comptabilisées dans le total national proviennent pour majorité du transport maritime international. La tendance des émissions est fonction des consommations de fioul lourd et du Diesel marine léger.

La tendance des émissions du transport aérien hors LTO (à savoir les émissions de la phase croisière ≥ 1000 m) des vols domestiques et internationaux se décorrèle du trafic grâce à l'amélioration des motorisations.

Ni

Les émissions de nickel du secteur du transport qui ne sont pas comptabilisées dans le total national ne proviennent que du transport maritime international. La tendance des émissions de nickel est fonction des consommations de fioul lourd.

Les légères fluctuations observées sont induites par les variations constatées dans la consommation de ce combustible.

▶ La méthode de calcul de l'inventaire national d'émissions de GES et de polluants est présentée en détail, par secteur, dans le **rapport annuel Ominea** du Citepa.

Gestion centralisée des déchets

Rédaction : **Vincent MAZIN**

En bref

Ce chapitre concerne les activités relatives au traitement des déchets solides, au traitement et rejet des eaux usées domestiques et industrielles mais aussi, conformément aux lignes directrices internationales sur les inventaires d'émissions nationaux, à la crémation, aux feux de véhicules et aux feux de bâtiments.

Les émissions du secteur Déchets en France métropolitaine ont globalement diminué sur la période 1990-2023, que ce soit concernant les polluants (essentiellement liés à l'incinération et aux feux de déchets) ou les gaz à effet de serre (essentiellement liés au stockage des déchets et dans une moindre mesure au traitement et rejet des eaux usées). La seule exception concerne l'ammoniac (NH_3).

A noter le développement de la filière du compostage et de la méthanisation de déchets ménagers depuis plusieurs années, même si leur impact reste très faible en termes d'émissions.

La prévention de la production des déchets est une priorité inscrite dans le code de l'environnement français. La loi n°2015-992 relative à la transition écologique pour la croissance verte (LTECV) a confirmé cette politique de prévention des déchets par des mesures de lutte contre les gaspillages et de promotion de l'économie circulaire en particulier en visant le découplage progressif entre la croissance économique et la consommation de matières premières, en développant le tri à la source (notamment des déchets alimentaires et des déchets des entreprises) et les filières de recyclage et de valorisation.

Description du secteur

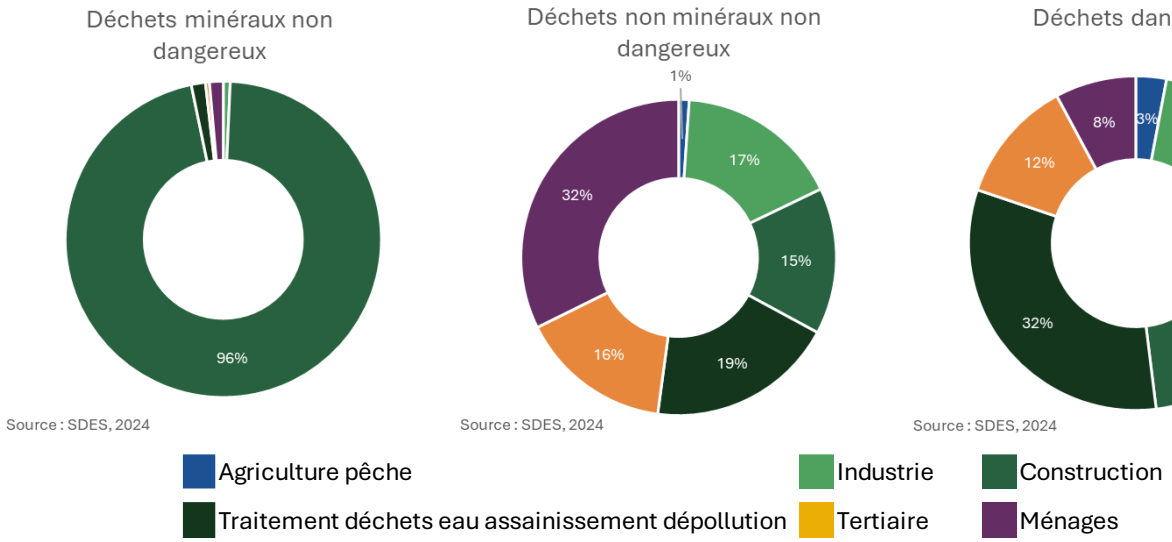
Panorama et enjeux

Tous les deux ans, le service statistique du ministère de l'environnement (SDES) publie un bilan de la production et du traitement de déchets à partir des données rapportées à Eurostat dans le cadre du règlement n°849/2010 relatif aux statistiques sur les déchets.

	Secteurs						
Catégorie de déchets	Agriculture pêche	Industrie	Construction	Traitement déchets eau assainissement dépollution	Tertiaire	Ménages	Ensemble
Déchets minéraux non dangereux	-	1 692	230 235	3 473	987	3 360	239 748
Déchets non minéraux non dangereux	1 016	15 845	14 151	18 162	14 693	30 461	94 328
Déchets dangereux	337	2 086	3 051	3 659	1 366	893	11 392
Total	**1 353**	**19 623**	**247 437**	**25 294**	**17 046**	**34 714**	**345 468**
Total hors déchets secondaires	*1 345*	*19 251*	*247 434*	*15 903*	*17 022*	*34 714*	*335 670*

***Source** : SDES, 2024*

Production de déchets en France métropolitaine, en 2022, par secteur d'activité (kt)

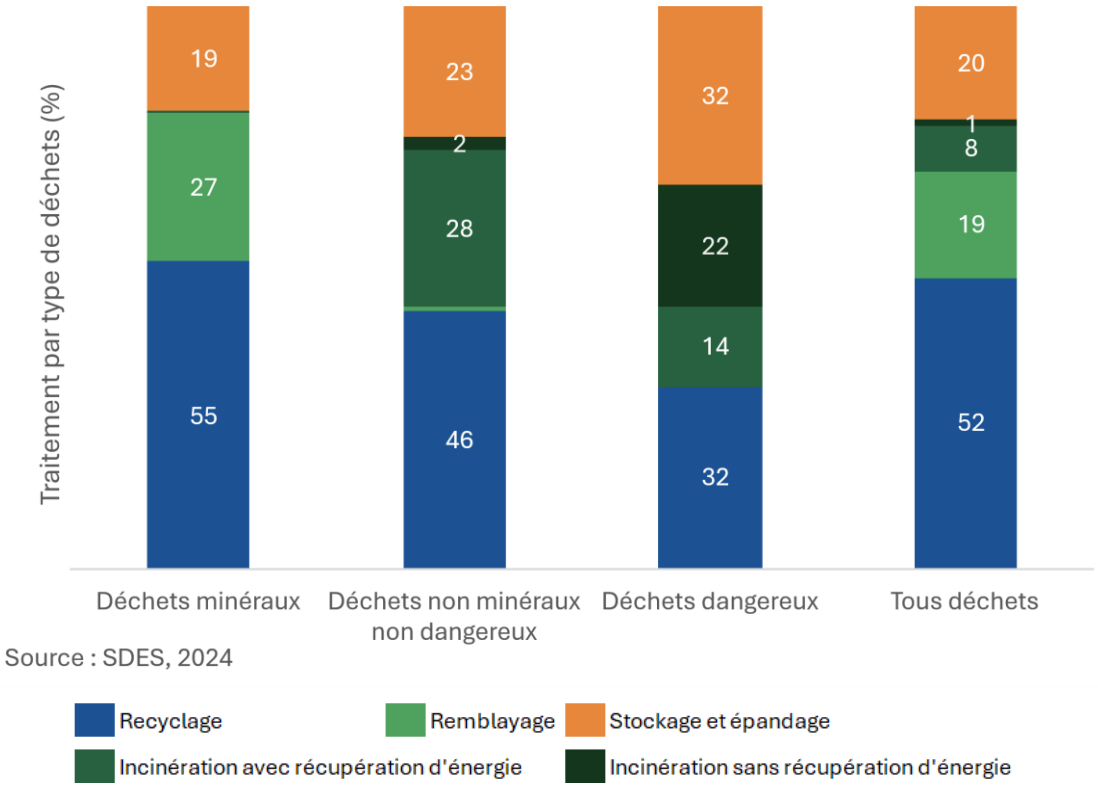


Production de déchets en France métropolitaine, en 2022, par secteur d'activité (kt).

	Recyclage	Remblayage	Incinération AVEC récupération d'énergie	Incinération SANS récupération d'énergie	Stockage et épandage	Total
Déchets minéraux	114 889	56 212	108	14	39 457	210 680
Déchets non minéraux non dangereux	36 719	384	22 480	1 754	18 563	79 900
Déchets dangereux	2 419	-	1 074	1 628	2 378	7 499
Tous déchets	**154 026**	**56 597**	**23 662**	**3 396**	**60 398**	**298 078**

***Source** : SDES, 2024*

Traitement de déchets en France métropolitaine, en 2022 (kt)



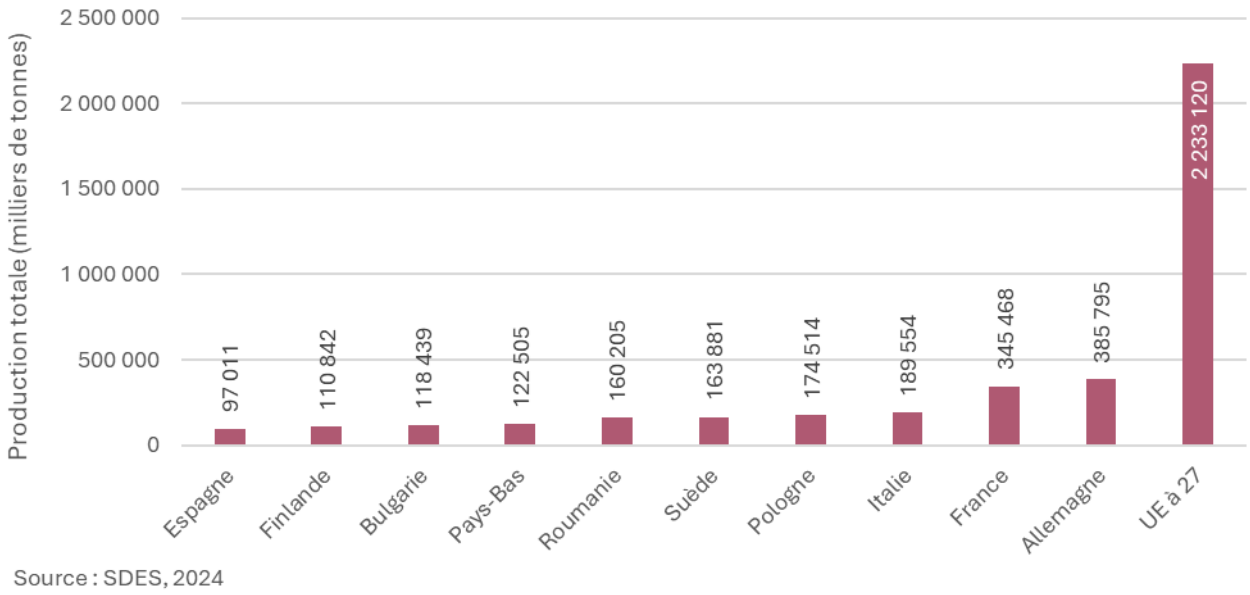
Traitement de déchets en France métropolitaine, en 2022 (en pourcentage)

Les quantités traitées en 2022 (298 millions de tonnes) sont inférieures aux quantités produites (345 millions de tonnes). Cette différence récurrente a plusieurs causes d'après le SDES : solde des exportations et des importations, effets de stock, détermination en poids sec ou humide des déchets, mais également imprécision de la mesure (quantités évaluées en poids, parfois en volume).

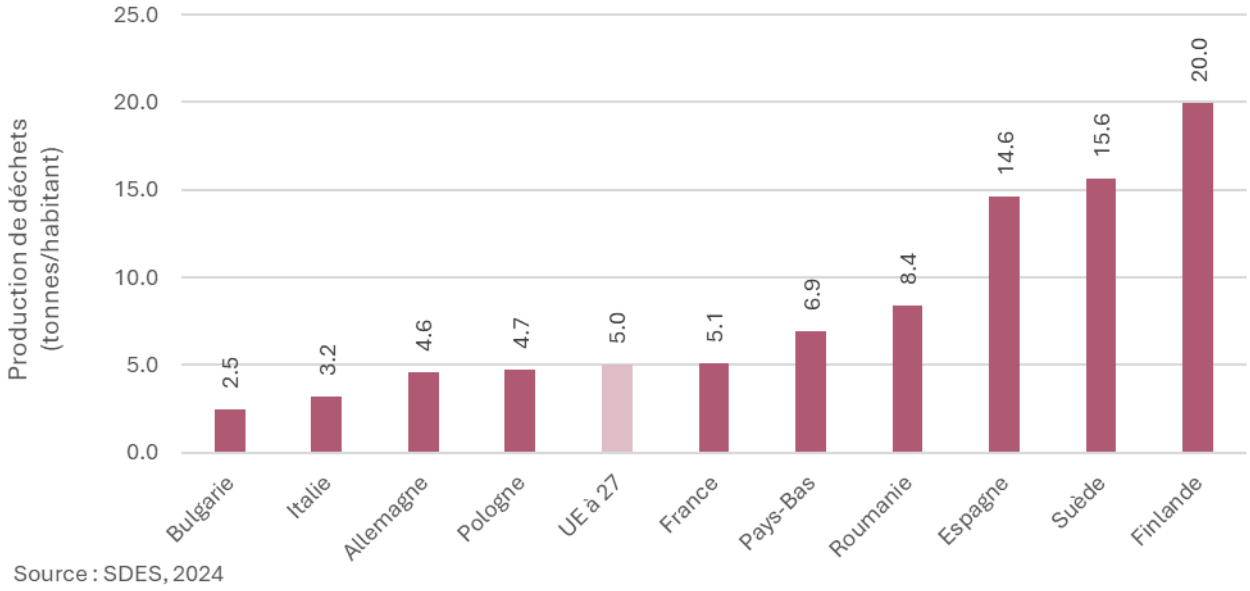
	Production totale (milliers de tonnes)	*dont dangereux (milliers de tonnes)*	Total (tonnes/habitant)	*hors déchets minéraux principaux (tonnes/habitant)*
UE à 27	2 233 120	*118 970*	5.0	*1.8*
Allemagne	385 795	*22 818*	4.6	*1.8*
France	**345 468**	***11 392***	**5.1**	***1.5***
Italie	189 554	*10 086*	3.2	*1.9*
Pologne	174 514	*2 261*	4.7	*2.1*
Suède	163 881	*7 170*	15.6	*2.2*
Roumanie	160 205	*1 091*	8.4	*1.1*
Pays-Bas	122 505	*4 349*	6.9	*2.5*
Bulgarie	118 439	*3 527*	2.5	*1.5*
Finlande	110 842	*29 267*	20.0	*1.8*
Espagne	97 011	*14 427*	14.6	*3.8*

Source : Eurostat, novembre 2024

Les 10 principaux pays européens producteurs de déchets et le total des déchets des 27 pays de l'Union européenne, en 2022. Source : Eurostat, 2024



Les 10 principaux pays européens producteurs de déchets et le total des déchets des 27 pays de l'Union européenne, en 2022. Source : Eurostat, 2024



Classement des dix plus grands producteurs de déchets en Europe, avec une comparaison à la moyenne de l'UE-27, en 2022. Source : Eurostat, 2024

On peut également noter que la France est le second plus gros producteur de déchets de l'Union Européenne (derrière l'Allemagne) avec une production de 345 millions de tonnes de déchets (15,5% du total de l'UE) en 2022 et représente 9,6% de la production de déchets dangereux de l'UE. En revanche, concernant la quantité de déchets générés par habitant, la France se situe au niveau moyen de l'UE pour cette même année, soit 5,1 tonnes par habitant.

Par ailleurs, l'ADEME réalise une enquête tous les deux ans, dite ITOM (Installations de Traitement des Ordures Ménagères), auprès de toutes les installations de traitement qui accueillent au moins des déchets collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets (centres de tri, traitements thermiques et biologiques, stockage des déchets non dangereux). La dernière édition de cette enquête a été publiée en 2024 et traite des déchets ménagers traités en 2022.

Sous l'appellation « déchets » sont considérés notamment les déchets de construction (ou déchets minéraux), les DAE (déchets des activités économiques) et les DMA (déchets ménagers et assimilés). Les déchets minéraux sont des déchets inertes et en particulier les déchets de bois en sont exclus. Il n'y a donc aucune émission de GES associée à ces déchets lors du stockage ou du remblaiement de carrière (considéré comme une opération de valorisation). Les DAE, sont des déchets, dangereux ou non, dont le producteur initial

n'est pas un ménage. Ils regroupent l'ensemble des secteurs de la production (agriculture-pêche, construction, tertiaire, industrie, etc.). Les DMA englobent les déchets des collectivités, les déchets des ménages et une partie des déchets non dangereux des entreprises collectés selon les mêmes modes que les deux types de déchets précédents.

Cadre politique

La politique française en matière de déchets est principalement cadrée par, d'une part, le **Plan National de Prévention des Déchets 2014-2020**. Ce programme fixe des objectifs quantifiés, notamment une diminution de 7% de la production de déchets ménagers et assimilés (DMA, c'est-à-dire l'ensemble des déchets collectés par les collectivités territoriales) par habitant en 2020 par rapport au niveau de 2010, et au minimum une stabilisation de la production de déchets issus des activités économiques (DAE) et du BTP d'ici à 2020.

D'autre part, les émissions de ce secteur sont concernées par les objectifs fixés par la **Loi de transition énergétique pour la croissance verte** (LTECV) adoptée en 2015 tels que :

- la réduction de 50% de la quantité de déchets mis en décharge à l'horizon 2025 par rapport à 2010,
- la réduction de 50% des produits manufacturés non recyclables avant 2020 par rapport à 2010,
- la réduction de 30% des déchets non dangereux non inertes envoyés en décharge d'ici à 2020 et de 50% d'ici à 2025 par rapport à 2020,
- la valorisation de 55% des déchets non dangereux non inertes, notamment organiques, en 2020 et 65% en 2025, via notamment la généralisation du tri à la source des biodéchets,
- la séparation progressive de la croissance économique et de la consommation de matières premières...

De plus, ce secteur est visé par la feuille de route économie circulaire (2018) visant à mieux produire, mieux consommer, mieux gérer les déchets avec des objectifs portant sur :

- la réduction de 30% de la consommation de ressources par rapport au PIB d'ici à 2030 par rapport à 2010,
- tendre vers 100% de collecte de déchets recyclables en 2025,
- l'économie d'émission de 8 millions de tonnes de CO_2 supplémentaires chaque année grâce au recyclage du plastique.

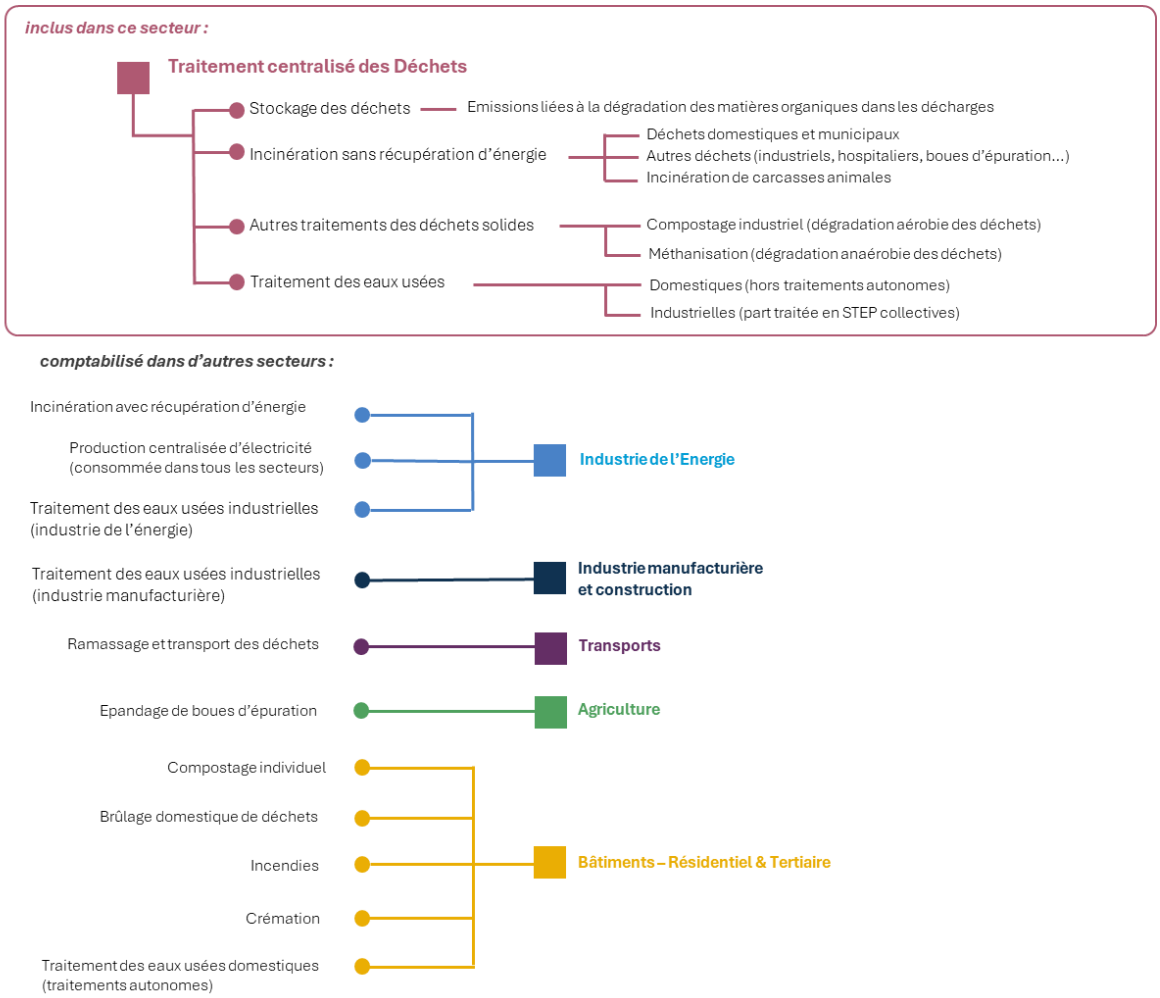
La réduction des émissions polluantes dans l'atmosphère issue du secteur des déchets est également liée à la mise en place de techniques de réduction en réponse à des contraintes réglementaires nationales, de l'UE et internationales.

Dans le cas de l'incinération, la mise en œuvre de techniques de réduction nécessaires au respect des valeurs limites des arrêtés du 20 septembre 2002 relatifs à l'incinération des déchets dangereux et non dangereux a permis une forte baisse des émissions liées à la filière d'incinération.

Dans le cas du stockage en ISDND (Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux), l'arrêté du 19 janvier 2006 modifiant l'arrêté du 9 septembre 1997 modifié relatifs aux installations de stockage de déchets ménagers et assimilés stipule que les ISDND doivent être équipées de dispositifs de captage et de récupération du biogaz.

Émissions incluses dans ce secteur

Ce secteur concerne les activités relatives au stockage et au traitement des déchets solides, au traitement et au rejet des eaux usées domestiques et industrielles mais aussi à l'incinération de déchets et à la crémation. Il n'inclut pas les émissions du compostage individuel, comptabilisées dans le secteur Bâtiments.



Les différents procédés de traitement des déchets mis en œuvre engendrent des rejets parfois significatifs de polluants et/ou de GES. On distingue dans l'inventaire le stockage en Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND), l'incinération (déchets non dangereux, déchets industriels dangereux, déchets de soins, boues, etc.), le brûlage (déchets agricoles, feux de déchets verts), et les procédés biologiques (compostage, méthanisation). Les activités de tri et recyclage ne sont pas considérées comme une source d'émissions dans l'air dans les inventaires.

Les eaux domestiques et industrielles sont traitées au moyen de filières de traitement collectives ou individuelles ou, de façon marginale, sont rejetées sans traitement. Les boues issues des filières de traitement des eaux usées sont traitées au travers des filières de traitement des déchets solides (stockage, incinération, procédés biologiques). Les émissions dans l'air issues de ces activités sont également prises en compte dans l'inventaire.

Les émissions associées à l'incinération de déchets avec récupération d'énergie et à la valorisation du biogaz issu des centres de stockage ou des stations d'épuration sont allouées au secteur Energie.

Les émissions liées aux feux ouverts de déchets verts, au brûlage de câbles, aux feux de voitures et de bâtiments sont rapportées dans le secteur Résidentiel.

Les émissions liées au traitement in-situ des eaux usées industrielles sont rapportées dans le secteur Industrie.

Les émissions liées au traitement autonomes des eaux usées domestiques (fosses septiques) et aux rejets directs sont rapportées dans le secteur Résidentiel.

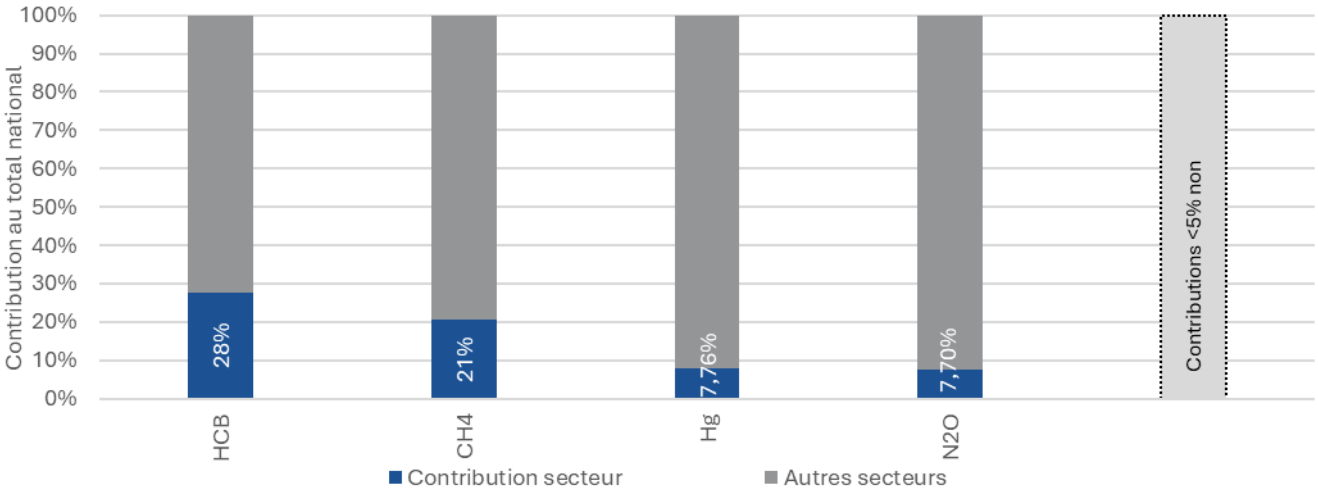
Les émissions associées à l'épandage des boues d'épuration sont rapportées dans le secteur Agriculture.

A noter : cas des déchets exportés et des déchets biomasse

Les émissions ayant lieu à l'international ne sont pas incluses. Ainsi, les émissions du traitement des déchets exportés par la France et traités à l'étranger ne sont pas comptabilisées dans l'inventaire français. A l'inverse, les déchets importés et traités en France sont pris en compte dans les calculs de l'inventaire français.

Par ailleurs, une part importante du CO_2 issu du secteur des déchets est d'origine biomasse et tous les flux de CO_2 de la biomasse (croissance, récoltes, etc.) sont estimés au sein du secteur UTCATF.

Principales substances émises par le secteur

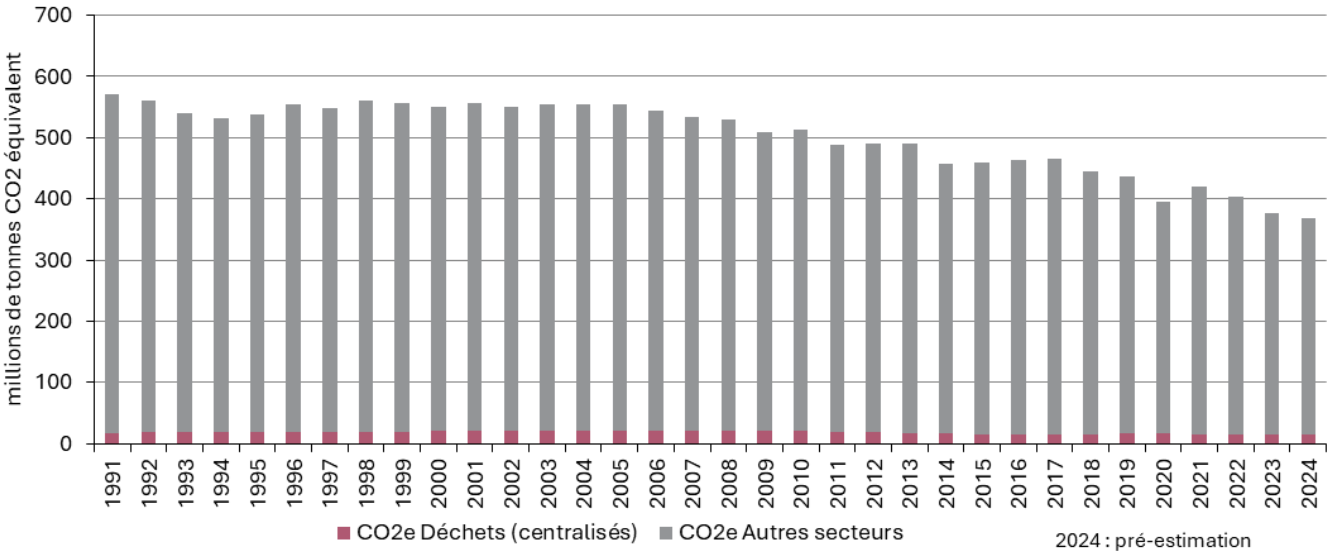


Substances pour lesquelles le secteur traitement centralisé des déchets contribue pour au moins 5% aux émissions en 2023

En termes d'impact sur le climat, le secteur du traitement des déchets correspond en 2023 à 4,2% des émissions de gaz à effet de serre totales en France (en équivalent CO_2, hors UTCATF, périmètre France métropolitaine et territoires Outre-mer inclus dans l'UE). Le méthane est le principal GES émis par ce secteur, représentant plus de 21% des émissions nationales de CH_4 cette même année. Les émissions de CH_4 proviennent en grande majorité des installations de stockage de déchets non dangereux. Toutefois, les ISDND ont vu leurs émissions de méthane réduire entre 2003 et 2015 en lien notamment avec une diminution des quantités de déchets stockés depuis le début des années 2000 et avec la hausse des quantités de biogaz capté. Depuis, on estime une stabilisation des émissions associée à une hausse des quantités stockées en 2018 et un retour au niveau de 2016 pour l'année 2020 ainsi qu'une stabilisation du taux de captage apparent.

Concernant les polluants, le secteur des déchets contribue de façon non négligeable aux émissions nationales de mercure (7,8%) et le HCB (28%). Le secteur de l'incinération des boues résiduelles du traitement des eaux usées prend une part importante des émissions de ces polluants, en particulier pour les HCB et le Cd. Concernant le Hg les émissions proviennent également fortement de l'incinération des boues résiduelles du traitement des eaux usées mais aussi de la casse des lampes fluorescentes et de l'incinération.

Émissions de gaz à effet de serre

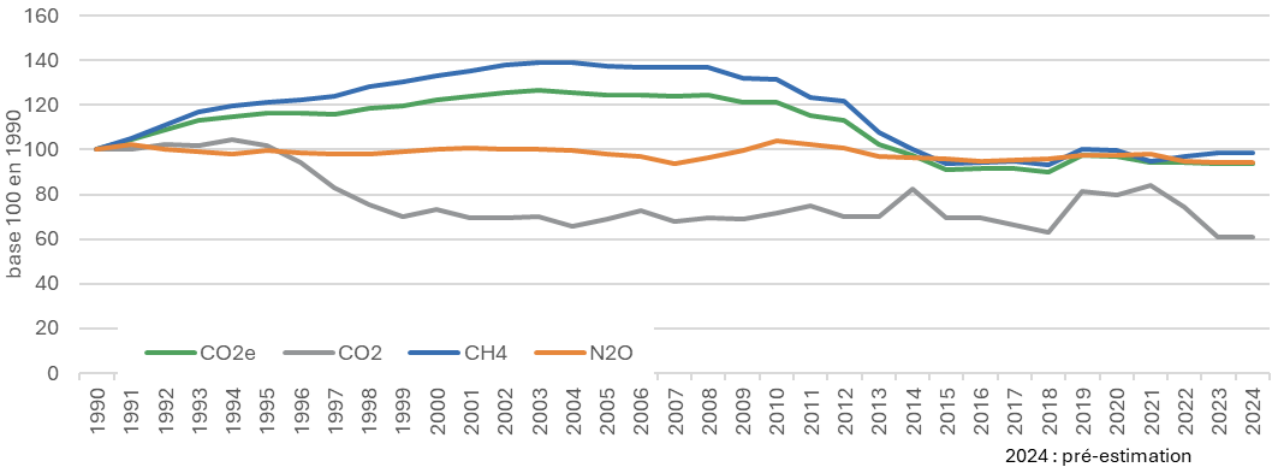


Contribution du secteur des déchets aux émissions totales de GES de la France

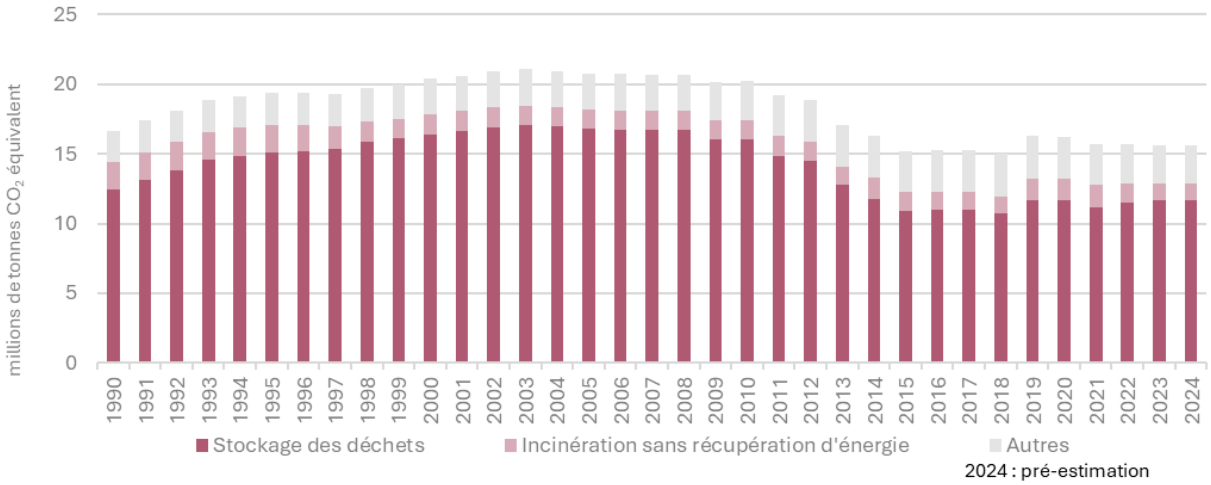
Vue d'ensemble

La part des émissions de GES du secteur du traitement centralisé des déchets par rapport au total national reste sensiblement constante sur la période 1990 – 2023, de 3,0% à 4,2% selon les années. La part du secteur sur le total national varie cependant largement en fonction du gaz à effet de serre considéré, pouvant représenter jusqu'à 23% (pic de représentation du CH_4 du secteur atteint en 2007) des émissions nationales pour le méthane et moins de 1% pour le CO_2. Ceci explique pourquoi la courbe des émissions en CO_2e suit celle du CH_4. Les émissions du secteur proviennent en grande majorité des émissions de CH_4 issues de la dégradation des matières organiques dans les installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND).ISDND représente entre 75 et 81% des émission totales de GES du secteur selon les années.

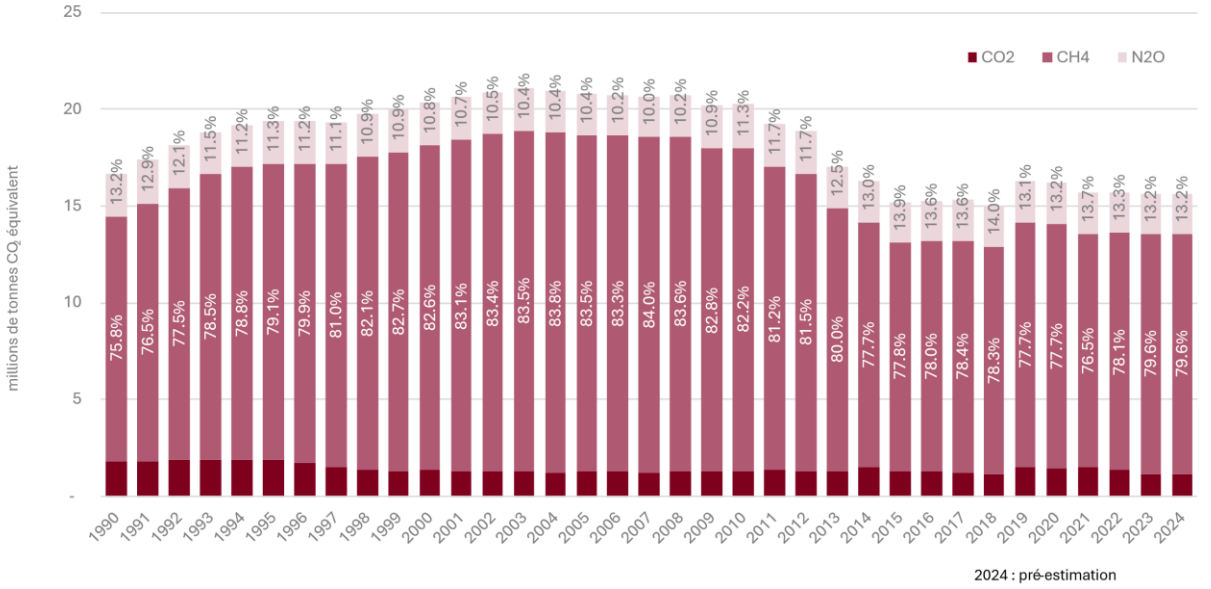
En 2023, les émissions de CO_2e liées au traitement centralisé des déchets s'élèvent à 15,7 Mt, soit un niveau légèrement inférieur à celui estimé pour 1990 (16,7 Mt CO_2e).



Evolution relative des émissions du secteur du traitement centralisé des déchets des différents GES en France (Métropole et Outre-mer UE) (base 100 en 1990)



Répartition des émissions de CO_2e du secteur du traitement des déchets centralisés en France par sous-secteur (Métropole et Outre-mer UE)



Répartition des émissions de CO_2e du secteur du traitement des déchets centralisés en France par type de GES (Métropole et Outre-mer UE)

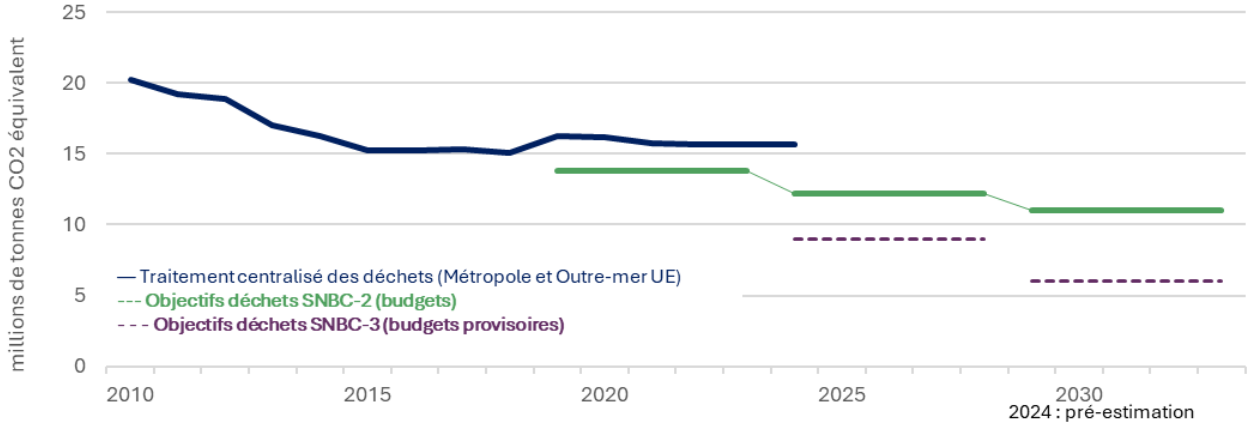
Si les émissions totales du secteur du traitement centralisé des déchets diminuent depuis plusieurs années, il est constaté une augmentation des émissions sur les traitements biologiques (notamment le compostage). Ces dernières ont doublé ces dix dernières années mais leur part absolue reste faible en comparaison des ISDND.

L'évolution 2023-2024 du secteur du traitement centralisé des déchets n'est pas estimée dans cette édition du rapport Secten. Par défaut, une hypothèse de stabilité des émissions est appliquée, en attendant l'inventaire édition 2026 qui estimera l'année 2024.

Il n'est cependant pas attendu de réduction interannuelle forte du fait de l'inertie des émissions du stockage. En effet, près des trois quarts des émissions de GES d'une année sont liés aux quantités stockées les années passées : l'effet des changements de pratiques ou de politiques ne peut jouer que sur une petite partie des émissions totales du secteur. Les émissions de ce secteur avaient diminuée de 0,3% entre 2022 et 2023.

Objectifs SNBC

Contrairement aux autres secteurs, les émissions associées au secteur des déchets ne sont pas à la baisse ces dernières années. Notamment, le budget carbone couvrant la période 2019-2023 ne semble pas être respecté. L'objectif de la SNBC-2 (publiée en 2022) sur le secteur des déchets est de baisser les émissions de 35% à l'horizon 2030 et de 66% à l'horizon 2050 en comparaison des émissions de 2015.



Evolution des émissions dans l'air de CO_2e du secteur du traitement centralisé des déchets en France (Métropole et Outre-mer UE) et objectifs SNBC-2

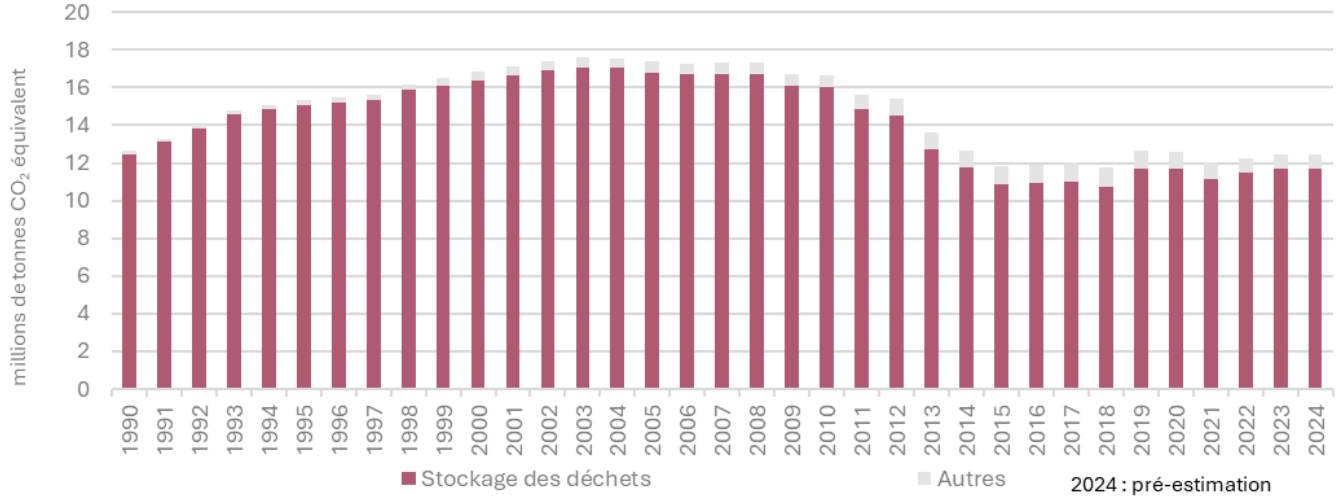
Leviers de réduction

Pour parvenir à mettre en œuvre les objectifs de la SNBC, les actions mises en place portent sur la réduction du gaspillage alimentaire, la prévention de la production des déchets, l'augmentation de la valorisation des déchets par le recyclage et la généralisation du tri à la source des biodéchets d'ici à 2025, la réduction des émissions diffuses de méthane des décharges et des stations d'épuration et la suppression à terme (horizon 2025) de l'incinération sans valorisation énergétique.

Analyse détaillée par gaz à effet de serre

CH_4 | Méthane

En 2023, le secteur du traitement centralisé des déchets correspond à 20,5% des émissions de CH_4 de la France, soit 12 461 kt CO_2e. Les émissions de ce secteur ont baissé de 1,4% entre 1990 et 2023 mais le maximum des émissions a été observé au début des années 2000 avec environ 23% des émissions nationales. Ainsi, la baisse observée des émissions de méthane entre 2003 et 2023 est de 29%.



Répartition des émissions de CH_4 du secteur du traitement des déchets centralisés en France (Métropole et Outre-mer UE)

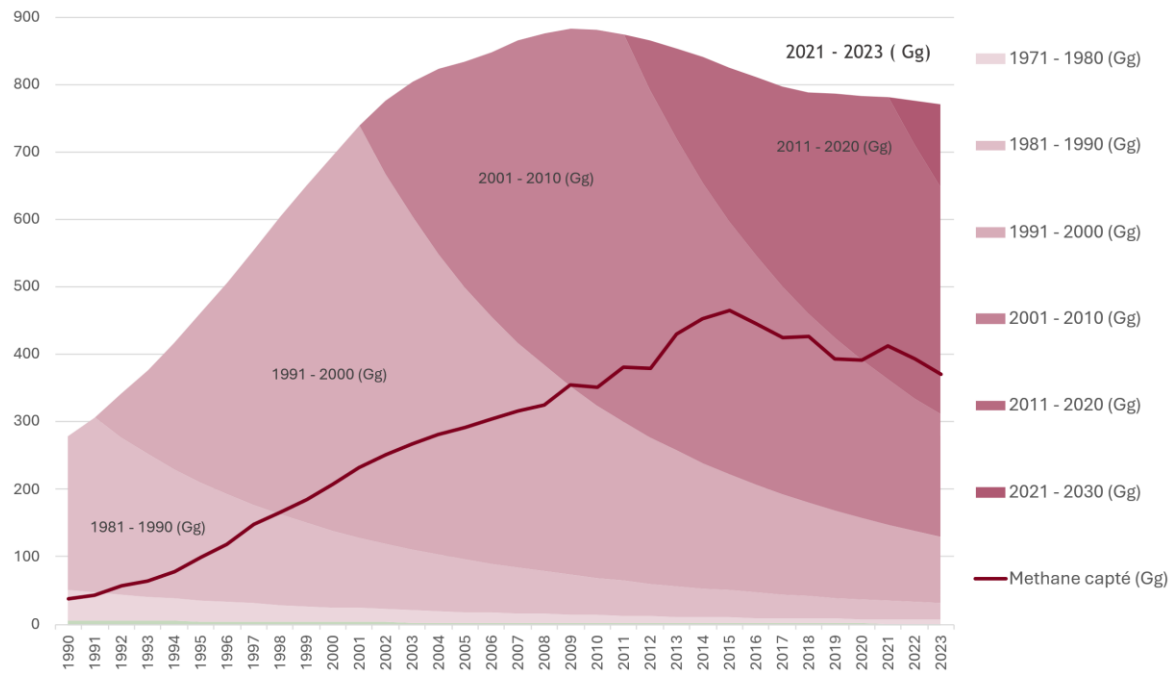
Ces émissions sont essentiellement issues des installations de stockage des déchets. L'évolution en cloche de ces émissions est liée à l'évolution des quantités de déchets stockées, dont le maximum a été atteint en 2003 et qui décroissent du fait des politiques publiques, de la hausse du taux de captage du biogaz et d'une évolution de la composition des déchets stockés.

Les mesures de prévention des déchets à destination des consommateurs, des entreprises et des collectivités, combinées à l'orientation d'une partie de ces déchets vers le recyclage matière a notamment permis de réduire les quantités stockées en ISDND et donc les émissions de CH_4 associées.

Le palier observé dans la décroissance des émissions est lié aux quantités plus importantes stockées en 2006 car les installations de stockage ont reçu les déchets des incinérateurs fermés pour leur mise en conformité avec les valeurs limites des arrêtés du 20 septembre 2002.

Le palier observé à partir de 2016 est lié à une légère augmentation des déchets stockés en 2016 issus des enquêtes ITOM. En 2018, l'enquête ITOM fait état d'une légère augmentation de la quantité de déchets mis en décharge (un peu plus de 5%). Compte tenu de cette augmentation, des cinétiques de dégradation des déchets considérées et d'une baisse de la quantité de méthane valorisé on observe une augmentation des émissions en 2019 et 2020.

Comme indiqué plus haut dans ce rapport, les émissions de CH_4 issues des sites de stockage sont estimées sur la base du modèle du GIEC (modèle de décomposition d'ordre 1). Ce modèle induit une décroissance des émissions atmosphériques pendant plusieurs décennies. Ainsi, il est possible de modéliser la décomposition des émissions provenant des déchets stockés en fonction de la période à laquelle ceux-ci ont été stockés.



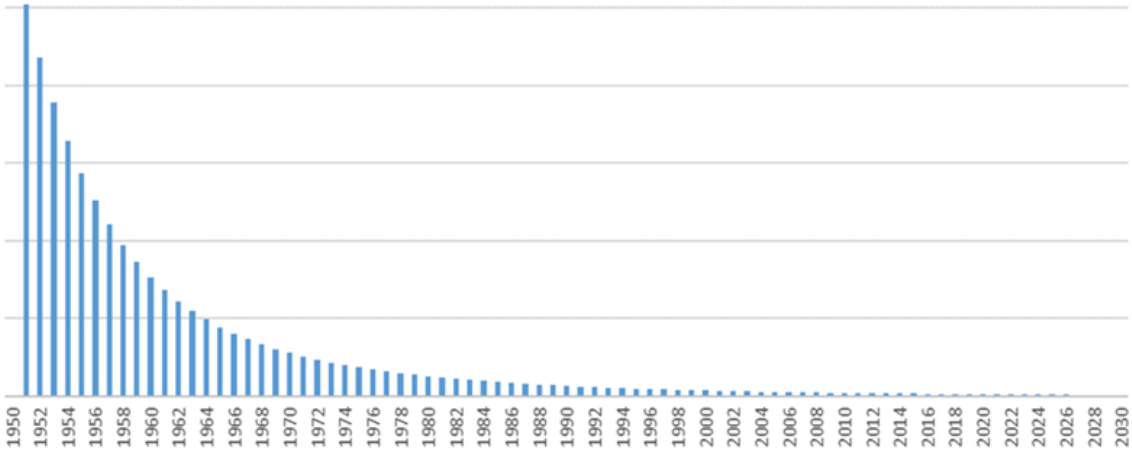
Evolution des quantités de méthane généré (Gg) par période de stockage des déchets

Le graphique ci-dessus présente à la fois les quantités de méthane généré (à ne pas confondre avec le méthane émis) par période de stockage de déchets et les quantités de méthane capté entre 1990 et 2023. Le graphique doit être interprété ainsi : en 2023, le méthane généré par le stockage des déchets provenait à 15,9% de déchets stockés entre 2021 et 2023, à 43,7% de déchets stockés entre 2011 et 2020, à 21,8% de déchets stockés entre 2001 et 2010 et à 16,8% de déchets stockés avant 2001.

Cinétique de dégradation des déchets et émissions de CH_4

Une spécificité de ces émissions de CH_4 est le fait que les déchets non dangereux stockés en ISDND se dégradent selon une certaine cinétique (cinétique de dégradation d'ordre 1) dépendant du type de déchets

enfouis, par conséquent certains déchets stockés dans les années 1990 émettent encore aujourd'hui. Afin d'illustrer ceci, le graphique ci-dessous présente le profil des émissions de méthane générées par la dégradation d'un massif de déchets stocké en 1950 en ISDND.



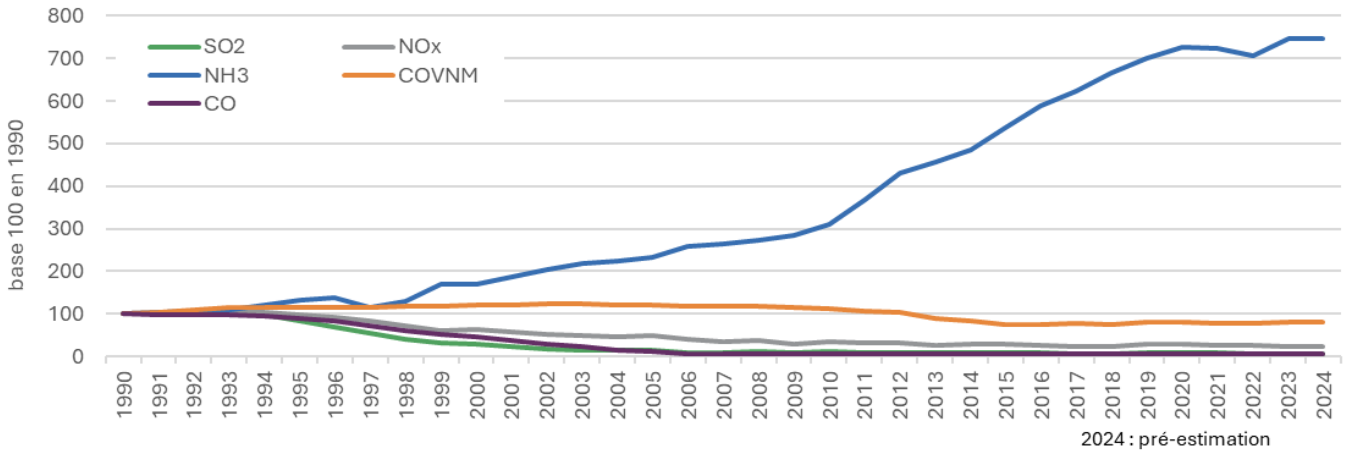
Tendance des émissions de CH_4 générées par la dégradation d'un massif de déchets stocké en 1950 en ISDND

Émissions de polluants atmosphériques

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique (AEPP)

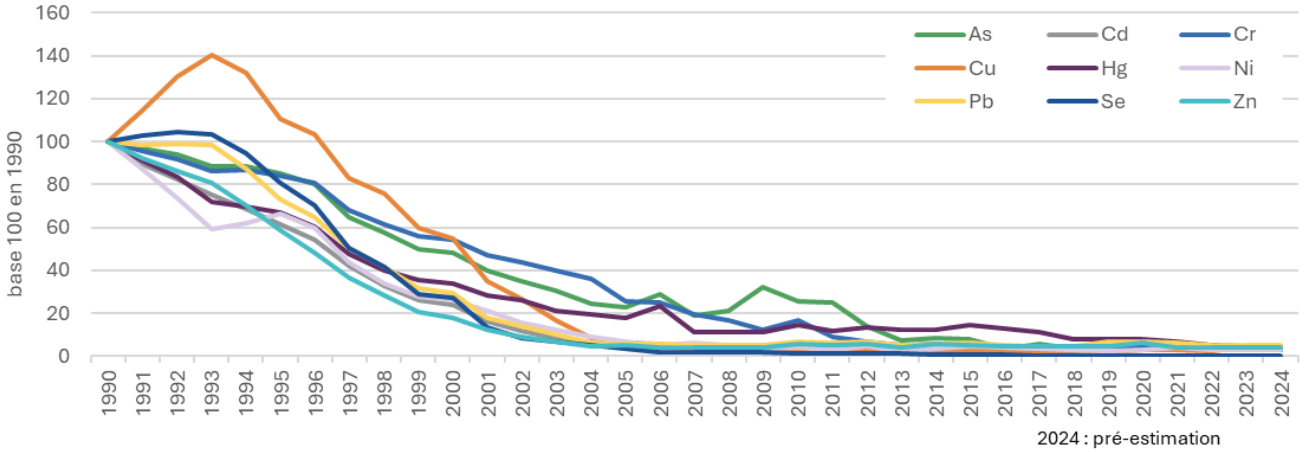
Pour les polluants AEPP, il est observé des tendances très différentes en fonction des polluants. Ceci s'explique par le fait que les sources principalement émettrices varient en fonction du polluant. En effet, les émissions de COVNM du secteur du traitement centralisé des déchets suivent le profil de la courbe des émissions de CH_4 puisque les émissions de COVNM proviennent presqu'en totalité du stockage des déchets non dangereux. Les émissions de NOx, SO_2 et CO proviennent en grande majorité de l'incinération de déchets sans récupération d'énergie.

Au début des années 2000, la mise en œuvre de techniques de réduction nécessaires au respect des valeurs limites d'émissions des arrêtés du 20 septembre 2002 relatifs à l'incinération des déchets dangereux et non dangereux a engendré une baisse des émissions de ces polluants dans ce secteur. Le profil des émissions de NH_3 est plus atypique car il est constaté une augmentation presque constante dans ce secteur. Ainsi, les émissions de NH_3 dans le secteur des déchets ont presque été multipliées par un facteur 7 entre 1990 et 2023. Cette augmentation s'explique par l'utilisation de plus en plus importante du compostage (industriel et domestique) et de la méthanisation (dans une moindre mesure) en France comme filières de traitement des ordures ménagères.



Evolution relative des émissions du secteur du traitement centralisé des déchets des substances de l'AEPP en France (Métropole) (base 100 en 1990)

Métaux lourds



Evolution relative des émissions du secteur du traitement centralisé des déchets des métaux lourds en France (Métropole) (base 100 en 1990)

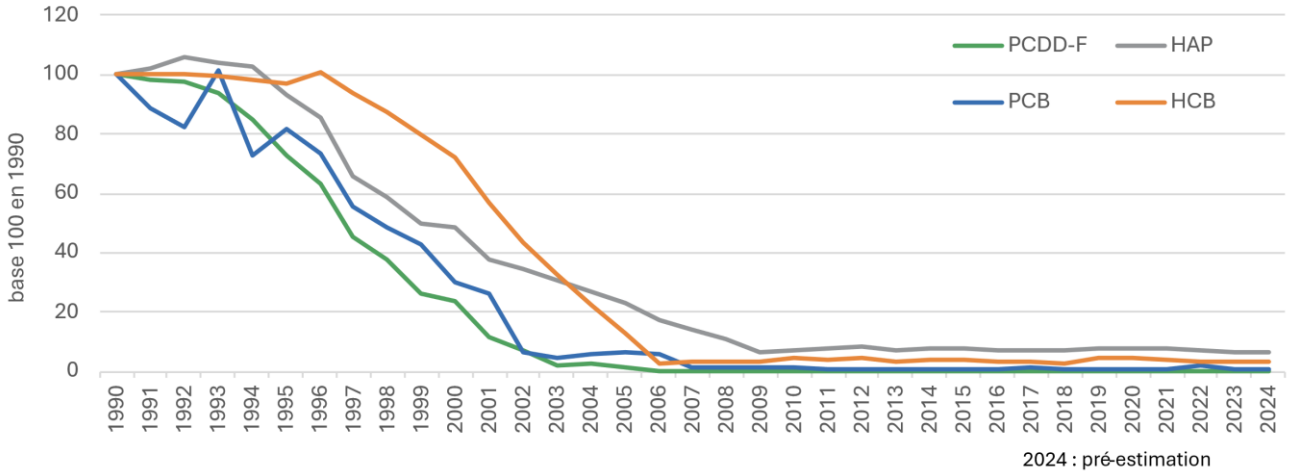
Hg | Mercure

Sur les années récentes, les émissions de mercure du secteur Déchets sont essentiellement liées à la casse de lampes fluorescentes usagées enfouies en installations de stockage, la crémation des corps et à l'incinération des déchets dangereux.

Les **lampes fluorescentes**, regroupant, entre autres, les tubes dits « néons », apparus dans les années 50, et les lampes compactes dites « LFC », apparues dans les années 80, contiennent du mercure en quantité variable en fonction du type et de l'année de mise sur le marché. Sur les années récentes, l'augmentation des émissions liées à leur casse est liée à l'augmentation du nombre de lampes arrivant en fin de vie. La tendance à la baisse résulte de l'application de normes encadrant la quantité de mercure autorisée dans les lampes. Du fait de la durée de vie de ces lampes, les émissions à venir dépendent essentiellement de l'évolution historique des ventes (pics observés en 2006 pour les tubes et 2010 pour les LFC) et de l'évolution du nombre de lampes collectées et recyclées (en constante augmentation depuis sa création de la filière en en 2006).

Concernant la **crémation des corps**, les émissions de mercure sont liées à la présence de ce composé dans les amalgames dentaires. Les émissions augmentent depuis 1990 du fait du nombre croissant de corps incinérés. La progression anticipée du nombre de corps incinérés au cours des prochaines années devrait continuer d'alimenter cette dynamique. Cependant, l'arrêté du 28 janvier 2010 relatif à la hauteur de cheminée des crématoriums et à la quantité maximale de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère, qui définit une concentration maximum de mercure dans les fumées à respecter au plus tard en 2018, pourrait infléchir cette tendance. De plus, la Convention internationale de Minamata sur le mercure de 2013, sous l'égide du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), n'a pas banni l'utilisation des amalgames dentaires au mercure, mais demande aux signataires de prendre des mesures pour éliminer progressivement leur utilisation. Enfin, l'article 10 du règlement de l'UE 2017/852 interdit l'utilisation d'amalgames dentaires à base de mercure sur les mineurs de moins de 15 ans et sur les femmes enceintes (sauf si « le praticien de l'art dentaire ne le juge strictement nécessaire en raison des besoins médicaux spécifiques du patient ») à partir du 1er juillet 2018, et interdit l'usage d'amalgames dentaires autres que sous forme encapsulée pré-dosée à partir du 1er janvier 2019. Ces éléments pourraient conduire à une baisse des rejets de Hg.

POP | Polluants organiques persistants

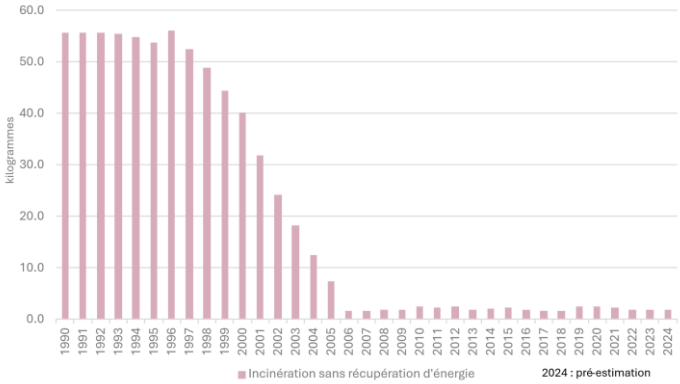


Evolution relative des émissions du secteur du traitement centralisé des déchets des POP en France (Métropole) (base 100 en 1990)

HCB | Hexachlorobenzene

Les émissions de HCB du secteur Déchets sont essentiellement liées à l'incinération des boues résiduelles du traitement des eaux usées. Le secteur des déchets contribue de façon importante en 2023 avec près de 28% des émissions totales.

La très forte décroissance observée entre 1997 et 2006 (de plus de 95%) est liée à l'effet combiné qui fait suite à des progrès réalisés par les incinérateurs de déchets dangereux et non dangereux sans récupération d'énergie en termes de traitement des fumées (mise en conformité progressive), mais également à la part croissante de l'incinération de déchets non dangereux avec récupération d'énergie.



Répartition des émissions des HCB du secteur du traitement des déchets centralisés en France (Métropole)

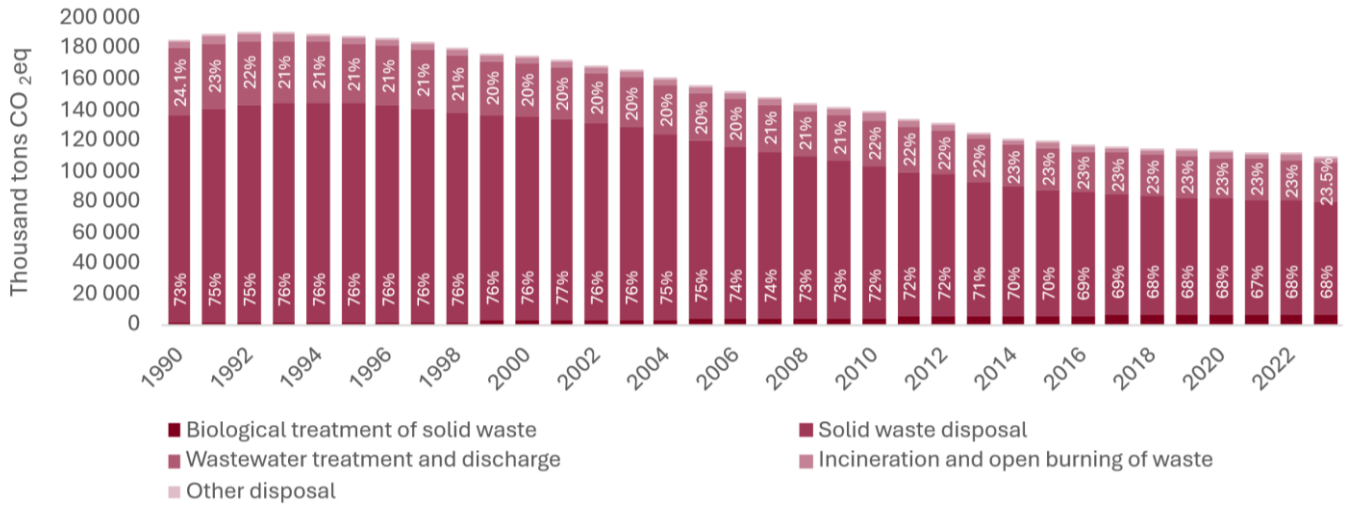
▶ La méthode de calcul de l'inventaire national d'émissions de GES et de polluants est présentée en détail, par secteur, dans le **rapport annuel Ominea** du Citepa.

Situation dans l'UE

Gaz à effet de serre

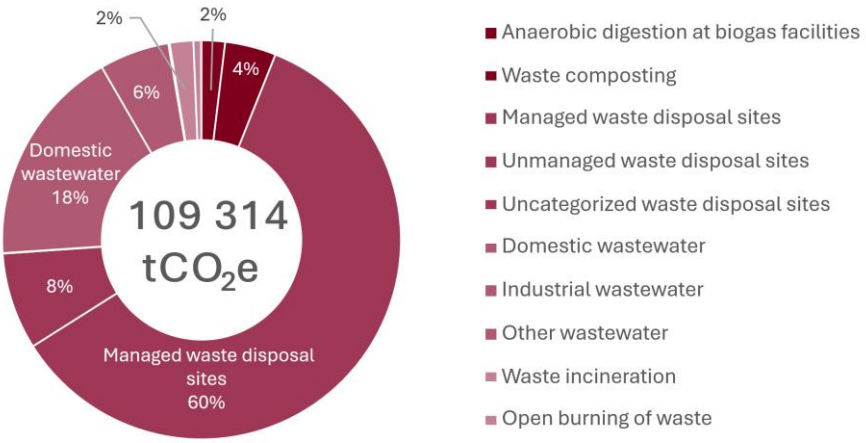
A l'échelle de l'Union Européenne, entre 1990 et 2023, les émissions de GES du secteur des déchets sont passées de 185 millions de tonnes à près de 109 millions de tonnes, soit une diminution de 41%. Comme en France, la majeure partie des émissions du secteur proviennent de de la dégradation des déchets mis en décharge. En effet, celles-ci représentaient 73% des émissions du secteur en 1990 et 68% en 2023. En parallèle, les émissions de GES associées au traitement des eaux usées ont légèrement diminué entre 1990 et 2023, passant de 24,1% des rejets totaux à 23,5%.

Enfin, on constate que certaines pratiques très minoritaires et très peu émettrices en 1990 prennent de plus en plus de place dans les émissions du secteur. C'est le cas en particulier du compostage et de la méthanisation qui ont respectivement vu leur part croitre de 0,44% (819 ktCO_2e) à 4,15% (4 518 ktCO_2e) et de 0,004% (8 ktCO_2e) à 1,9% (2 068 ktCO_2e) sur la période 1990 – 2023.



Source : European Environment Agency

Emissions par secteurs de l'UE (27) de GES en $ktCO_2e$ de 1990 à 2023 – *European Environment Agency*



Source : European Environment Agency

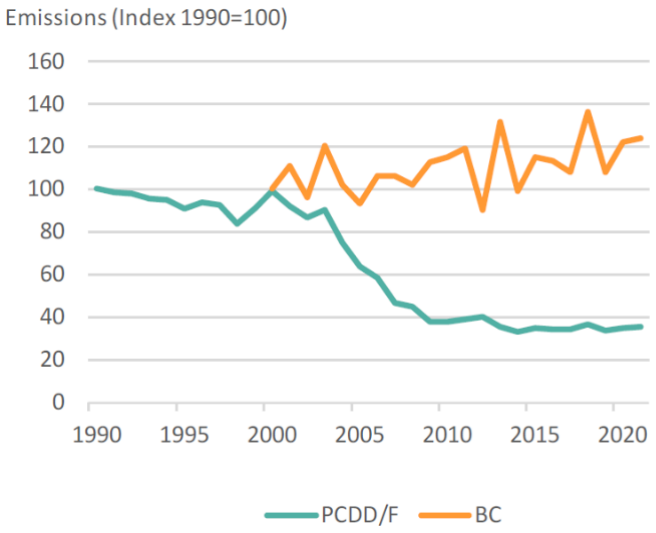
Part de chaque secteur dans les émissions totales de l'UE (27) de GES en $ktCO_2e$ en 2023 – *European Environment Agency*

Polluants atmosphériques

Concernant les polluants, à l'échelle de l'UE, le secteur du traitement des déchets est une source importante de polluants, dont les PCDD-F et le carbone suie.

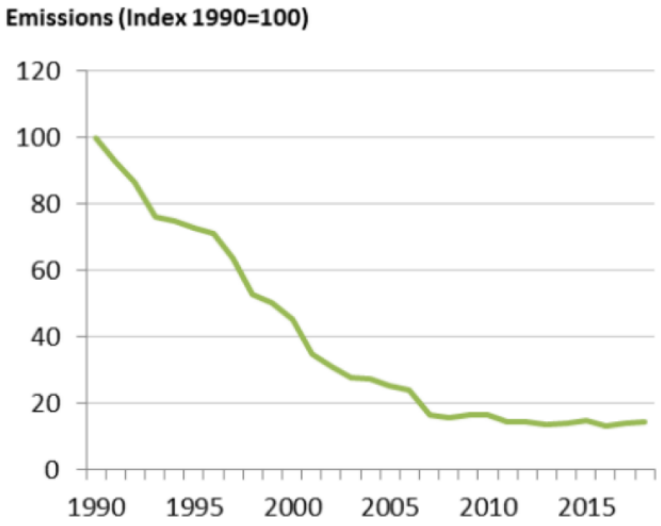
Selon le rapport annuel des inventaires de polluants de l'UE publié par l'EEA, la réduction des émissions de PCDD-F signalée par le Portugal de 1990 à 2022 a le plus contribué à la baisse observée dans l'UE. Dans son IIR, le Portugal a indiqué que 25 incinérateurs avaient été fermés ces dernières années sur son territoire, avec un seul incinérateur de déchets hospitaliers encore en activité depuis 2004. La tendance à la hausse entre 2011 et 2019 est imputable à la Roumanie (5C1biii - Incinération des déchets hospitaliers).

En outre, l'introduction d'installations d'incinération des déchets municipaux avec récupération d'énergie (1A1a) et une réduction progressive de la quantité de déchets cliniques incinérés (5C1biii) en Espagne, la diminution du nombre d'incendies, en particulier dans les sites de stockage (5E) en Pologne et la mise en œuvre du traitement des effluents atmosphériques dans les installations d'incinération avec et sans récupération d'énergie (France) ont également permis une décroissance des émissions européenne de PCDD-F. Enfin, le pic de rejets observable en 2009 est expliqué par une forte hausse des émissions associées à la crémation des cadavres (5C1bv) à Malte.



Evolution des émissions de PCDD-F et de BC de l'UE entre 1990 et 2022 - European Environment Agency

Concernant les émissions de carbone suie, elles sont principalement le fruit du brûlage à l'air libre des déchets. L'Espagne semble être le pays le plus émetteur de BC (75% de l'UE27) en ce qui concerne le secteur des déchets en 2022.



Evolution des émissions de Hg de l'UE entre 1990 et 2019
European Environment Agency

Enfin, la tendance à la baisse des émissions de Hg dans l'UE est très similaire à celle observée en France. Une diminution rapide des rejets jusqu'à la seconde moitié des années 2010 et une baisse moins forte depuis. Ceci s'explique par une adaptation progressive de la réglementation associée aux sites d'incinération et de crémation et des valeurs limites d'émissions plus contraignantes.

Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Forêt

Rédaction : **Mélanie JUILLARD, Quentin BÉDRUNE, Étienne MATHIAS, Etienne DELORT**

En bref

Le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt) constitue pour l'instant le seul secteur permettant des absorptions de CO_2 grâce à la photosynthèse des plantes. Le carbone absorbé est provisoirement retranché de l'atmosphère en étant stocké dans la biomasse et les sols. En France, aujourd'hui, les absorptions (en premier lieu la croissance de la biomasse forestière et non forestière) sont plus importantes que les émissions de ce secteur (mortalité des arbres, déboisements, feux de forêt, artificialisation des sols...). Ce secteur est donc un puits net de carbone. En 2023, ce puits net est estimé à -37 $MtCO_2e$. Dans le même temps, les autres secteurs ont émis 376 $MtCO_2e$, l'UTCATF permet donc de compenser 10% des émissions des autres secteurs. Fortement à la hausse durant la période 1990-2005, le puits a drastiquement diminué de 2014 à 2017, passant d'environ -50 Mt CO_2e dans les années 2000 à seulement -28 Mt CO_2e en 2017. Cette quasi-division par deux de la capacité de séquestration de carbone est principalement en lien avec l'effondrement du puits de carbone forestier. Cette dynamique peut s'expliquer par la sévère hausse de la mortalité des arbres par l'effet couplé de sécheresses à répétition depuis 2015 et de crises sanitaires (dépérissement des arbres liés aux scolytes, chalarose, etc.) ; par un ralentissement de la croissance des peuplements, et d'une hausse des prélèvements. L'édition 2025 de l'inventaire UTCATF présente un changement méthodologique important pour rendre compte de cette hausse de la mortalité forestière : les stocks de bois morts forestiers sont désormais estimés, de manière dynamique. Une augmentation de la mortalité des arbres ne sera plus traduite immédiatement en émissions de carbone, mais un stockage temporaire de ce carbone dans le bois des arbres morts est désormais comptabilisé. Cela permet de mieux refléter la temporalité des émissions. Des enjeux importants reposent dans l'adaptation des forêts au changement climatique et la favorisation de la résilience des peuplements pour permettre un maintien voire une régénération du puits forestier. Ce volet devra notamment être couplé à un renforcement du stockage de carbone dans des produits bois à longue durée de vie, une réduction de l'artificialisation des terres et un renforcement du stockage de carbone dans les sols agricoles. L'ambition politique est d'arriver, en 2050, pour la neutralité carbone, à un puits UTCATF, complété par des puits artificiels (CCS...) afin de compenser intégralement les émissions résiduelles des autres secteurs, projetées à cet horizon à environ 80 $MtCO_2e$ dans la SNBC-2. Cet objectif sera révisé dans la SNBC-3 à paraître.

Description du secteur

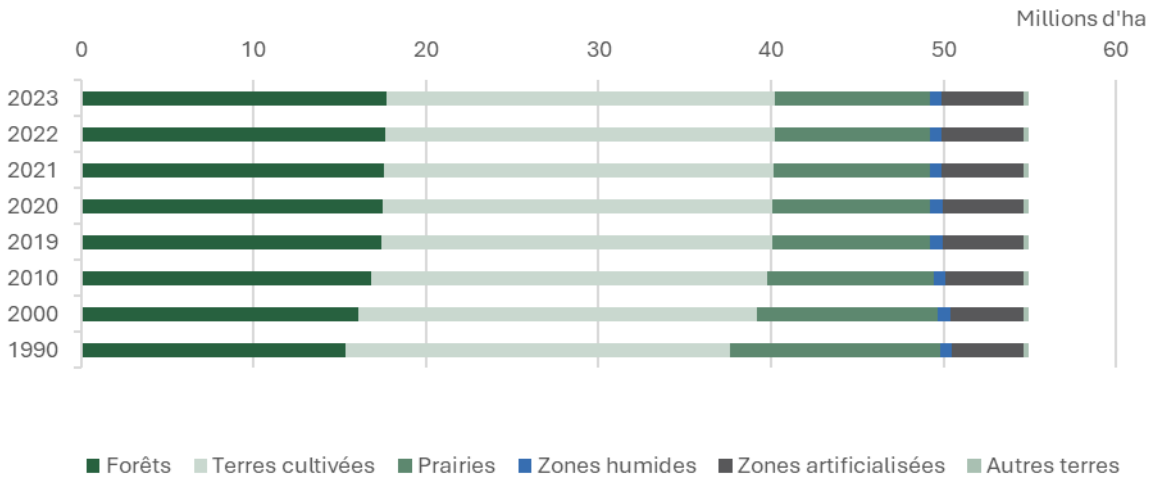
Vue d'ensemble

Panorama et enjeux

L'inventaire du secteur UTCATF (Utilisation des terres, changements d'affectation des terres et Forêt), ou LULUCF en anglais (*Land-Use, Land-Use Change and Forestry*) présente un bilan des flux de carbone entre le territoire et l'atmosphère. Pour faciliter ce bilan, le GIEC distingue différents compartiments (ou réservoirs) de carbone : la biomasse vivante, la biomasse morte (bois mort et litière) et le sol. Ces différents compartiments peuvent voir leur stock de carbone augmenter ou diminuer, traduisant ainsi des transferts de carbone entre ces compartiments et avec l'atmosphère. L'inventaire du secteur UTCATF consiste à estimer ces flux de carbone et en particulier les émissions et absorptions sous forme de CO_2. Les flux rapportés dans l'inventaire peuvent être dus à des changements d'affectation des terres ou de pratiques récents ou encore à des dynamiques de plus long terme.

Dans l'inventaire français, comme dans la plupart des pays, les terres forestières sont particulièrement concernées en raison des stocks de carbone importants que constituent les arbres, la litière et les sols. En France, sur la période récente les forêts présentent globalement un puits de carbone : les absorptions de CO_2 sont supérieures aux émissions de CO_2. Cependant, cela ne signifie pas que toutes les forêts soient systématiquement des puits de carbone, si les prélèvements forestiers dépassent la capacité de régénération de ces mêmes forêts sur un cycle de gestion forestière, ces forêts sont dégradées et constituent des sources supplémentaires de CO_2 pour l'atmosphère.

Le degré de mobilisation de la biomasse forestière (pour usage de bois matériau, bois industrie, bois énergie) et les stratégies de maintien ou d'accroissement du rôle de puits de carbone des forêts françaises représentent des enjeux scientifiques et politiques forts. Plusieurs études récentes ont nourri ce débat, tant en France que dans l'UE. Les terres agricoles (cultures et prairies) sont également suivies avec attention en raison du stock de carbone important contenu dans les sols sous forme de matière organique. La biomasse des espèces ligneuses (haies, vergers, vignes...) en zones agricoles est également un volet important du stockage de carbone du secteur. Néanmoins, seuls les flux de carbone sont rapportés ici (variation du stock) et non le stock lui-même.



Superficies en France par usage, évolution 1990-2023 (millions d'hectares)

Émissions incluses dans ce secteur

Le secteur UTCATF est organisé en sous-secteurs correspondants aux grandes catégories d'usage des terres définies par le GIEC dans ses lignes directrices pour les inventaires nationaux : Forêts, Cultures, Prairies, Zones artificielles, Zones humides, Autres terres. Il est important de noter que ces grandes catégories ont des définitions assez larges et les sous-catégories correspondantes ne sont pas forcément intuitives. Ainsi, les terres boisées en deçà du seuil de définition officiel de la forêt sont comptabilisées en « Prairies », et les prairies temporaires sont incluses dans la catégorie « Cultures », en tant qu'élément de la rotation agricole.

Une méthodologie particulière

Contrairement aux autres secteurs de l'inventaire, l'UTCATF n'est pas estimé sur la base de données d'activités, mais sur la base de surfaces d'utilisation des terres. La méthode de calcul consiste à découper le territoire selon son historique d'utilisation. En utilisant les six catégories d'utilisation des terres proposées par le GIEC on obtient 36 catégories différentes classiquement représentées sous forme de matrices de changements d'utilisation des terres.

Le secteur UTCATF présente un bilan complet des émissions et absorptions de CO_2 pour chacune des catégories ainsi définies sur la base de matrices de changements d'utilisation d'une durée de 20 ans.

;	Forêts	Cultures	Prairies	Zones artificielles	Zones humides	Autres terres
Forêts	=	=	=	=	=	=
Cultures	=	=	=	=	=	=
Prairies	=	=	=	=	=	=
Zones artificielles	=	=	=	=	=	=
Zones humides	=	=	=	=	=	=
Autres terres	=	=	=	=	=	=

Matrice de changement d'usage des terres

Objectifs

Le secteur UTCATF est régi par des règles de comptabilisation et des modalités de rapportage très spécifiques dans le cadre de la réglementation européenne. Il est aussi visé par la Stratégie nationale bas carbone, qui présente une déclinaison indicative des budgets carbone pour ce secteur depuis sa version révisée de 2020.

Ce secteur, qui est actuellement un puits net, constitue un enjeu majeur des politiques climat puisque l'objectif de la France, dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone et de l'Accord de Paris, consiste à atteindre puis à maintenir, en 2050, un bilan net à zéro de tous les secteurs, c'est-à-dire en faisant en sorte que les émissions résiduelles des autres secteurs (c'est-à-dire après réduction massive de leurs émissions) soient totalement compensées par les absorptions (du secteur UTCATF principalement mais aussi par les puits artificiels, comme le Captage et Stockage de Carbone).

Dans le cadre du règlement européen UTCATF (2018/841 amendé par le 2023/339)

Dans le cadre de la politique climat de l'UE, en particulier dans le cadre du règlement 2018/841 (qui vient ajouter le pilier « UTCATF » à SEQE et hors-SEQE), une approche par comparaison à un niveau de référence (dit FRL pour *Forest Reference Level*) est appliquée pour le secteur forestier. Les exigences de méthode et de résultats ont été revues en 2023 via le règlement 2023/839. Ce FRL est l'estimation du niveau de référence du puits forestier pour la période 2021-2025, c'est-à-dire le puits attendu sans mesures politiques supplémentaires, en continuant, à partir de 2010, les pratiques documentées sur la période 2000-2009. Il sera comparé au puits effectivement estimé sur cette même période. Ce FRL a été calculé en 2018-2019 par le Citepa et l'IGN, a été rapporté à la Commission européenne et a été publié sur le site du MTE. Le bilan comptable des émissions et absorptions du secteur UTCATF sera réalisé en 2027 pour cette la période 2021-2025. Les pays doivent être en crédit comptable, après l'application des règles spécifiques par secteurs. Plusieurs flexibilités ont néanmoins été adoptées. Pour la période 2026-2030, ces règles sont simplifiées, avec des objectifs nationaux contraignants pour 2030 pour chaque État membre, couvrant l'ensemble du secteur UTCATF. L'UE s'est fixé un objectif global de puits net de -310 Mt CO_2e en 2030. Les objectifs par Etat Membre sont calculés à partir des absorptions nettes historiques moyennes des États membres pour les années 2016, 2017 et 2018 et de la part des pays dans la superficie totale des terres gérées de l'UE utilisée pour allouer l'objectif de l'UE aux États membres. L'objectif à atteindre pour la France est actuellement de -34 Mt CO_2e. Cet objectif pourra faire l'objet d'ajustements pour refléter les évolutions méthodologiques de l'inventaire, à condition de conserver l'ambition globale de l'UE. De plus, de 2026 à 2029, les États membres doivent respecter un « budget » UTCATF afin de garantir la trajectoire de réduction.

Dans le cadre de la SNBC

La SNBC-2 prévoit un puits de l'UTCATF en 2050 de 67 MtCO_2e. A noter que cet objectif intègre un puits de carbone dans les sols forestiers, non pris en compte dans le calcul actuel du puits faute de données suffisantes pour le quantifier avec précision. Une amélioration future du calcul du puits de carbone sur les sols forestiers et sur d'autres composantes entrainera un recalcul de ce secteur. Il convient donc de rester prudent quant à l'interprétation des résultats et des projections sur l'évolution future du puits de l'UTCATF.

Liens avec d'autres politiques et stratégies

Le secteur UTCATF est impacté directement et indirectement par d'autres cadres politiques et stratégiques : la Politique Agricole Commune (PAC) de l'UE a des impacts sur les pratiques agricoles et ainsi les flux de carbone dans les sols et la biomasse (comptabilisées dans le secteur UTCATF) ; la politique de développement des énergies renouvelables et notamment la bioénergie (directive RED-II puis RED-III) ; la stratégie forestière de l'UE ; les stratégies au niveau européen et national de lutte contre l'artificialisation des terres (avec l'objectif, en France, de zéro artificialisation nette inscrit dans le plan Biodiversité de 2018 et la loi Climat et Résilience de 2021). De nombreux textes ayant un lien avec l'UTCATF sont en cours de construction au niveau européen, c'est par exemple le cas du règlement sur la Restauration de la Nature, ou de la loi sur la santé des sols.

Emissions et absorptions incluses dans ce secteur

Dans les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre, seules les émissions et absorptions dites « anthropiques » sont à prendre en compte. En pratique, la distinction entre émissions « naturelles » et « anthropiques » est difficile à respecter. Pour résoudre ce problème, le GIEC propose une alternative nommée « *managed land proxy* » qui permet de considérer que toutes les émissions et absorptions ayant lieu sur des terres « gérées » sont assimilables à des émissions et absorptions anthropiques. Ce raccourci permet d'éviter une subjectivité problématique dans la définition des termes « naturel » et « anthropique ». Il est vrai que l'enjeu est en partie déporté sur la définition d'une terre « gérée » mais, dans bien des cas, l'ensemble du territoire peut être considéré comme géré, toutes les émissions ou absorptions estimées sur le territoire sont alors incluses. Les émissions et absorptions de gaz à effet de serre des mers et océans (parfois appelé « carbone bleu ») ne sont pas incluses.

Les émissions ayant lieu hors du territoire national ne sont pas incluses dans l'inventaire national. Ainsi, les émissions liées à la « déforestation importée », prises en compte dans une approche empreinte, ne sont pas comptabilisées ici. L'inventaire national se concentre, conformément aux règles internationales, sur les émissions et absorptions ayant lieu sur le territoire national. Néanmoins, le secteur UTCATF inclut aussi la catégorie des « produits bois », c'est-à-dire la comptabilisation du carbone temporairement stocké sous différentes formes (bois de construction, meubles, papiers…). Leur comptabilisation peut être effectuée selon une approche « producteur » (rattachée au pays d'où le bois provient) ou une approche « consommateur » (rattachée au pays ou le produit est consommé). Dans le cadre de la CCNUCC, l'approche producteur est appliquée : ainsi, le bilan carbone de ces produits bois est rattaché au pays d'où le bois provient et non au pays où il sera consommé, et où il générera des émissions en fin de vie.

Liens avec d'autres secteurs

Cohérence avec le secteur Energie

Par ailleurs, ce secteur est géré en cohérence avec le secteur énergie, sans double-compte. Cette cohérence est importante sur la prise en compte du bois énergie en particulier. En effet, la question du bois énergie peut être abordée selon deux axes différents : une approche production ou une approche consommation. En règle générale, les émissions sont allouées au secteur d'activité qui génère les émissions dans l'atmosphère. En suivant cette règle les émissions de CO_2 de la combustion du bois devraient être rapportées dans le secteur énergie. Ce n'est pas le cas. Les émissions de CO_2 liées à la combustion du bois sont rapportées dans le secteur UTCATF. C'est donc une approche production qui a été privilégiée. Ce choix répond à la volonté de grouper dans un même secteur tous les flux de carbone associés à la biomasse (absorptions et émissions) et sans doute à des considérations méthodologiques, le suivi de la biomasse forestière étant souvent plus aisé à partir des données de récolte et d'inventaires forestiers que des données de consommation. Néanmoins, les émissions de CO_2 liées à la consommation de biomasse énergie sont indiquées dans les secteurs consommateurs, à titre informatif uniquement pour éviter tout double compte (voir section « CO_2 »).

Liens avec le secteur Agriculture

Le secteur UTCATF couvre toutes les terres d'un territoire, ce qui inclut les terres agricoles. Pour autant il ne faut pas confondre les secteurs « Agriculture » et « UTCATF » qui ont des périmètres thématiques différents :

- Le secteur UTCATF couvre toutes les émissions et absorptions de CO_2 liées aux variations de stock de carbone des différents compartiments évoqués précédemment (ainsi que quelques émissions marginales de CH_4 et N_2O associées : brûlages, minéralisation).
- Le secteur agriculture couvre les émissions de CH_4, COVNM, N_2O, NH_3 liées aux cultures et à l'élevage, les émissions de CO_2 liées aux amendements basiques et à l'usage d'urée, les émissions de particules dues au travail du sol et

aux bâtiments d'élevage, ainsi que les émissions de l'énergie en agriculture.

Du fait des liens entre ces deux secteurs, le GIEC a fusionné les méthodes agriculture et UTCATF dans les lignes directrices de 2006, sous le terme AFOLU. Cependant, la séparation de ces deux secteurs demeure car les méthodes mises en œuvre pour les calculs sont différentes et les enjeux traités également. Dans l'inventaire Secten, comme dans l'inventaire soumis au Nation Unies par la France le secteur UTCATF est rapporté de manière distincte de l'agriculture.

Spécificités du secteur

Un puits net

Actuellement, en France, l'UTCATF est le seul secteur générant des absorptions massives de CO_2. Comme le bilan net UTCATF est un puits, exprimé en valeurs négatives, sa prise en compte rend plus difficile les comparaisons entre secteurs et la compréhension du total national. Pour plus de clarté, les résultats d'inventaire sont classiquement présentés avec la mention « avec UTCATF » (bilan net prenant en compte le puits de carbone) ou « hors UTCATF » (émissions brutes, sans tenir compte du puits de carbone).

Stocks et flux

La prise en compte de flux de carbone doit être bien différenciée de la notion de stocks. Pour les forêts par exemple, le stock de carbone existant (dans les sols, la biomasse, etc.) était et demeure très élevé en France. Néanmoins, pour l'évaluation du puits de carbone, c'est l'évolution nette de ce stock d'une année à l'autre qui est impactante. Si le stock a augmenté, cela signifie que le bilan des flux de carbone dans les forêts était positif, symbole d'une absorption supplémentaire de carbone et donc d'un puits de carbone. Plus le bilan des flux de carbone est positif, plus le stock augmente rapidement et plus le puits de carbone est fort. En revanche, si pour une année le stock se maintient mais n'augmente plus, cela signifie que le puits de carbone de l'année en question est nul.

Un secteur dont la prise en compte est un enjeu politique

L'inclusion de ce secteur dans les inventaires et dans les bilans officiels des Etats a fait l'objet de débats. En 2000, la Conférence des Parties à la CCNUCC de La Haye (COP-6) a été suspendue faute d'accord, en particulier à propos des modalités du recours aux puits de carbone dans la réalisation des objectifs de réduction des émissions. Le risque identifié étant que la comptabilisation du puits de carbone de l'UTCATF freine les ambitions de réduction des émissions dans les autres secteurs. Après cet échec, la Conférence de Marrakech (COP-7) de 2001 et la Conférence de Durban (COP-17) de 2011 ont ensuite permis de construire en détail des règles complexes de prises en compte de l'UTCATF, notamment dans le cadre du Protocole de Kyoto.

Comptabilisation des polluants en hors-total

Le secteur UTCATF n'existe que dans le référentiel de la CCNUCC, pour le rapportage des émissions de gaz à effet de serre. Pour les émissions de polluants rapportées au titre de la CEE-NU, les émissions de substances provenant des terres (feux de forêts, terres agricoles, COV de la végétation) sont rapportées avec les émissions naturelles, et exclues du total national. Les polluants des feux de forêt ont été intégrés au secteur UTCATF qui en soi n'existe pas pour le rapportage officiel des polluants. Enfin, des émissions naturelles de méthane estimées pour les eaux terrestres et marais sont aussi rapportées en « hors total » des GES.

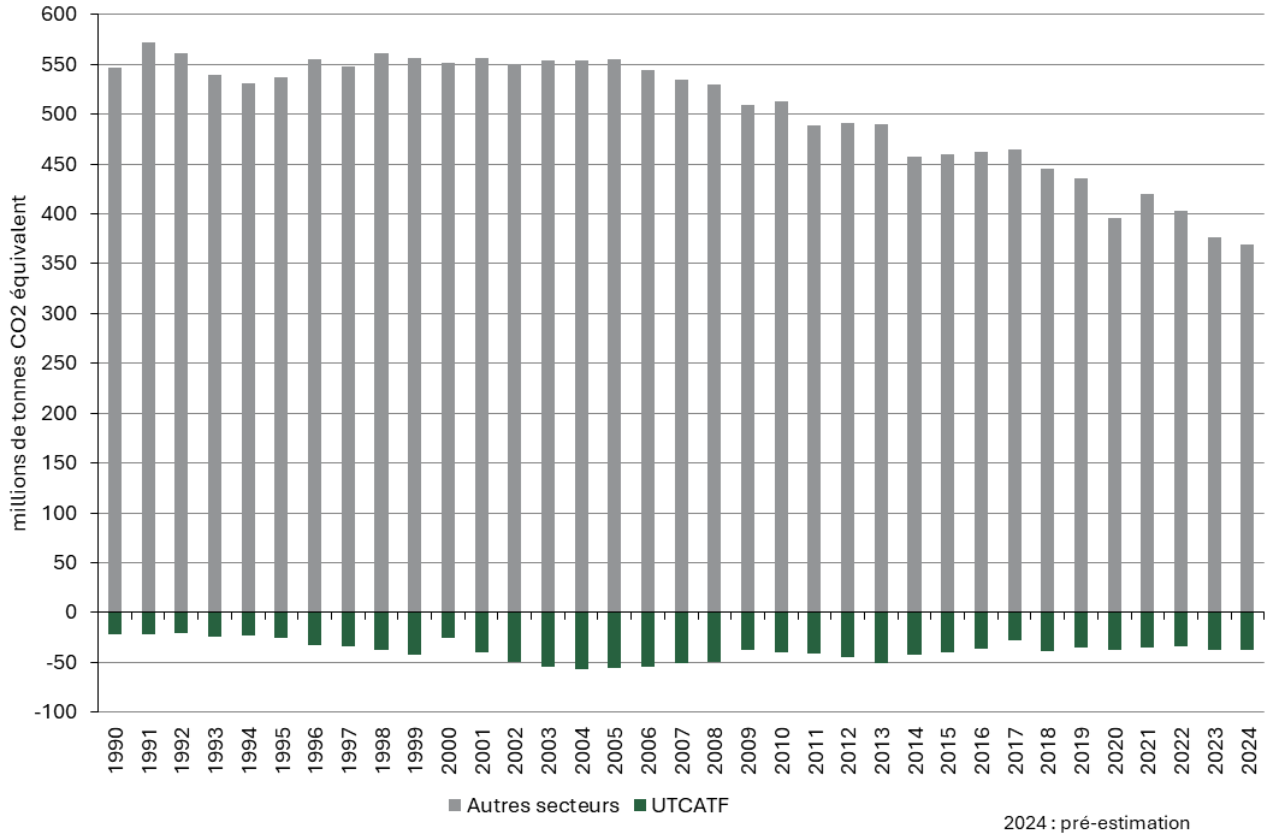
Principales substances émises par le secteur

Le secteur UTCATF est concerné par les principaux gaz à effet de serre : CO_2 principalement, mais aussi N_2O et CH_4. Des émissions de polluants liées aux feux de forêts sont associées ici à ce secteur, mais dans le référentiel de la CEE-NU celles-ci sont classées dans les émissions naturelles.

En France, actuellement, le secteur UTCATF est un puits net : son bilan total présente davantage d'absorptions de CO_2 que d'émissions. Ce puits se maintient sur l'ensemble de la période. C'est principalement la croissance des arbres sur pied (plus que l'expansion de la surface forestière) qui explique ce niveau de puits de carbone important. En ce qui concerne les variations interannuelles de ce résultat, il faut observer plus en détail les dynamiques forestières qui sont les principaux paramètres influents : gestion sylvicole, taux de prélèvement de bois, incendies, tempêtes, mortalité. Ce puits de carbone est compris entre 21 et 56 millions de tonnes de CO_2e selon les années, ce qui a permis de compenser environ 5 à 13% des émissions totales de gaz à effet de serre (en CO_2e) des autres secteurs.

Émissions et absorption de gaz à effet de serre

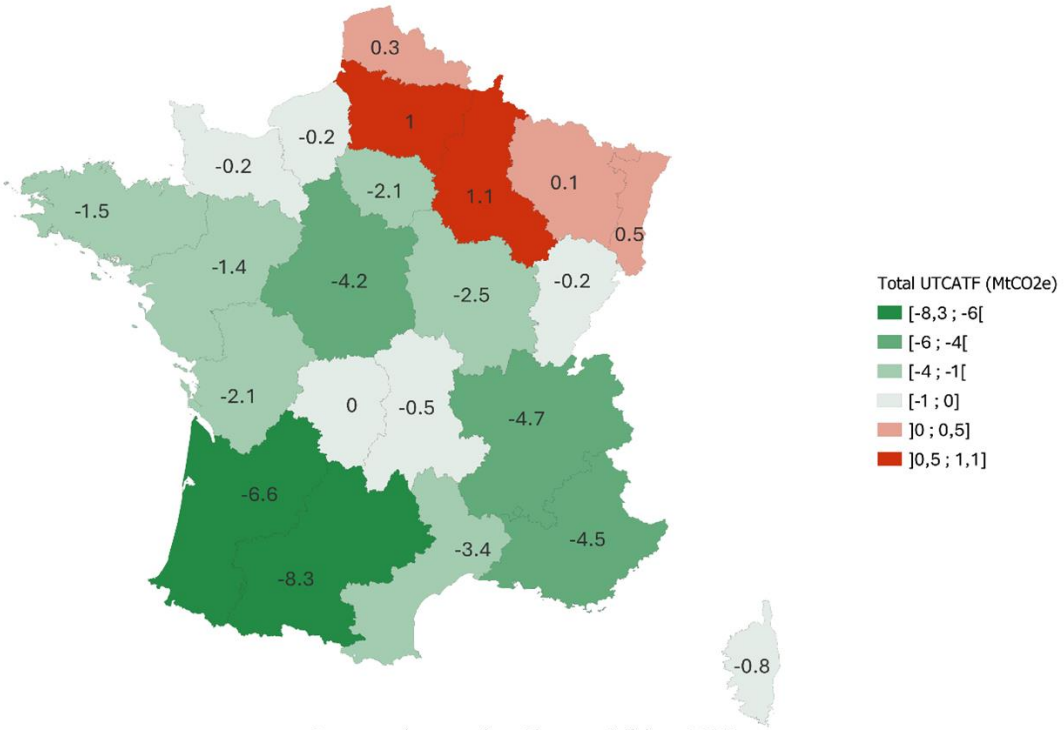
Vue d'ensemble



Contribution du secteur aux émissions totales de GES de la France

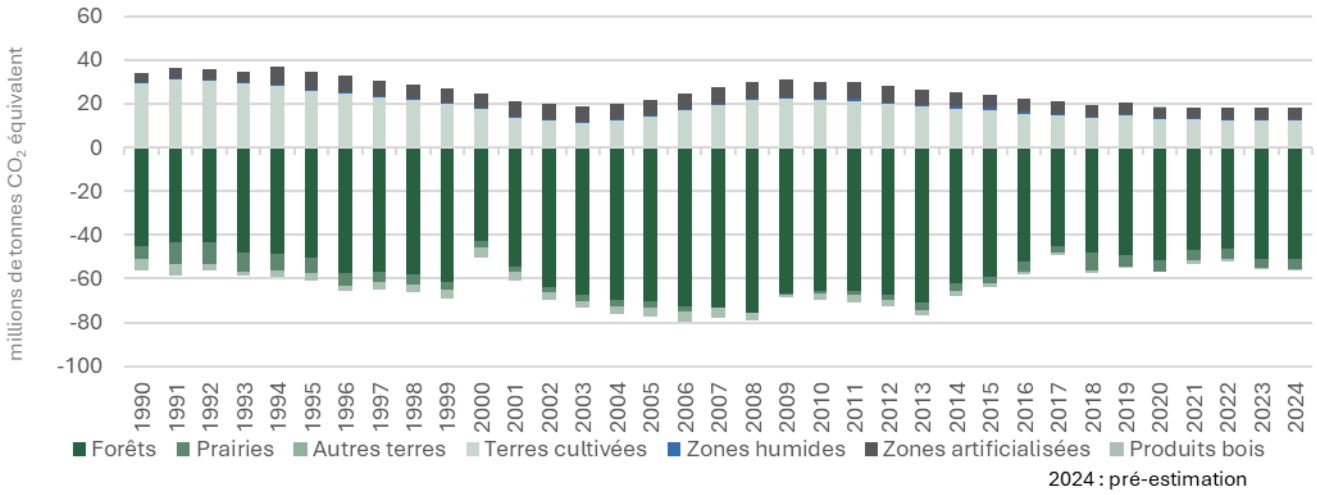
Au total, les émissions cumulées de tous les GES du secteur UTCATF reflètent surtout la dynamique des émissions et absorptions de CO_2 qui représentent l'essentiel du secteur, en particulier la part en forêt.

Ce puits net total a ainsi connu une période d'augmentation (durant les années 1990 et 2000). Il tend à diminuer depuis 2008, et s'effondre ces 10 dernières années en lien avec une diminution du puits forestier (dont les causes seront discutées plus loin).



Source : inventaire Citepa, édition 2025

Emissions nettes du secteur UTCATF par région en 2023



Répartition des émissions et absorptions de CO_2e du secteur de l'UTCATF en France (Métropole et Outre-mer UE)

Leviers

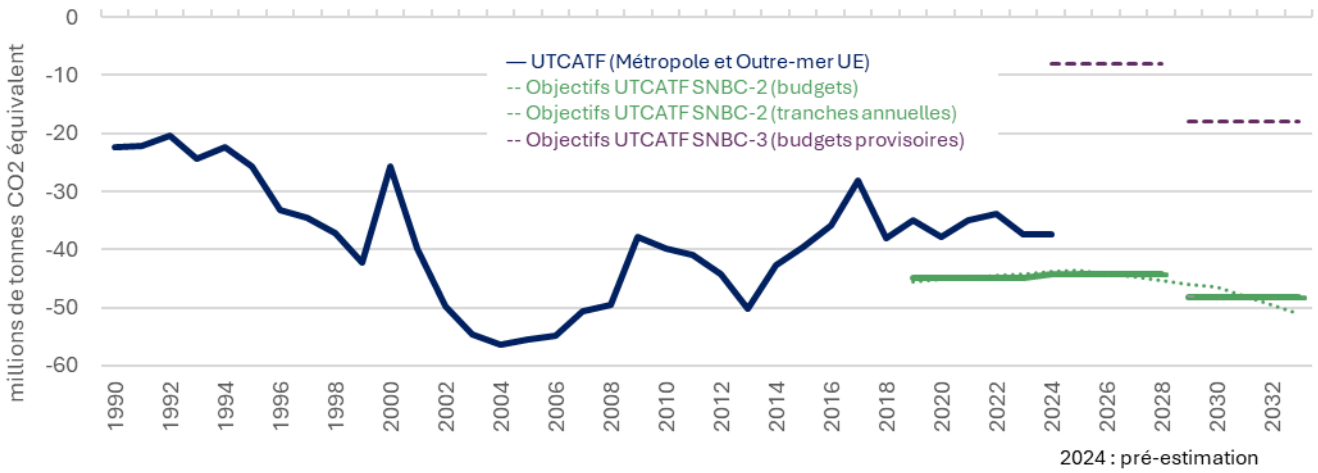
Les dynamiques pour maintenir de fortes absorptions sont assez fragiles et les efforts en faveur d'un puits important du secteur UTCATF doivent être constamment renouvelés. En France, comme souligné par les derniers Mémentos de l'inventaire forestier national, après plusieurs décennies d'expansion de ce stock en forêt, un ralentissement est noté, et cela se traduit par une baisse du puits de carbone forestier. Les causes seront discutées plus loin.

Le potentiel de hausse du puits du secteur UTCATF est limité, contraint par des limites biophysiques (croissance de la biomasse, dynamique de la matière organique des sols, surfaces disponibles au boisement). Néanmoins il est possible d'agir sur plusieurs leviers (gestion forestière, boisement, pratiques agricoles, limitation de l'artificialisation des sols, développement des produits de bois de longue durée de vie...).

Objectifs SNBC

Initialement, l'objectif de la SNBC-2 prévoyait d'atteindre un puits de carbone entre -40 et -45 Mt à horizon 2030. Le puits de carbone s'est en effet largement réduit entre 2015 et ces dernières années (voir le détail des explications plus bas).

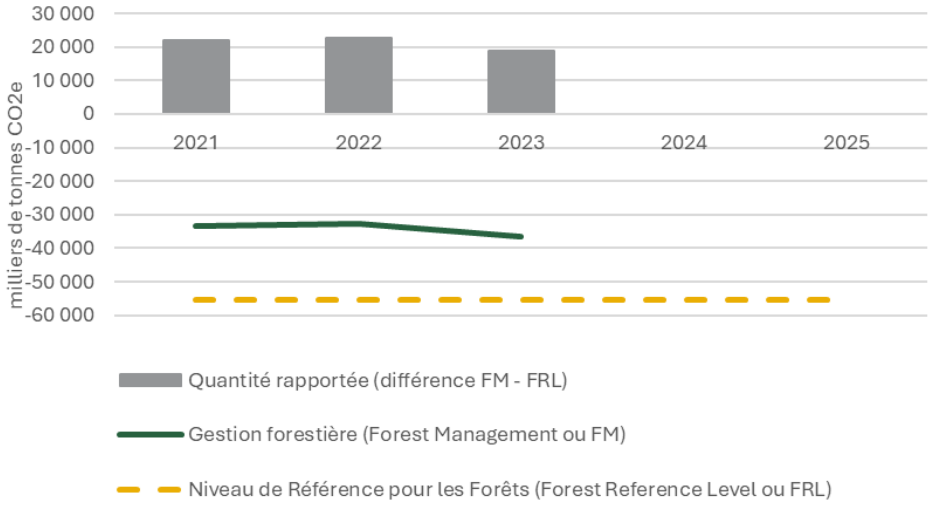
A noter que les objectifs provisoires dans le cadre de la SNBC-3[53] prennent en compte la fragilisation du puits forestier : le budget pour la 3ème période (2024-2028) a été réhaussé à -9 $MtCO_2e$/an contre les -45 $MtCO_2e$/an initialement fixés par la SNBC-2.



Flux de GES du secteur et objectifs SNBC

Dans le cadre du Protocole de Kyoto, des objectifs spécifiques étaient définis pour les pays Annexe I dont la France pour le secteur UTCATF. Pour le puits forestier, la catégorie de rapportage « Forest management », ou FM, visait à comparer le puits de carbone estimé et le niveau moyen du puits de carbone projeté (dit « FMRL »). Cet objectif concernait la période couverte par la 2e période de rapportage du Protocole de Kyoto (2013-2020).

Cette période étant clôturée, un nouveau régime d'objectif s'applique désormais pour la période 2021-2025, via le règlement UTCATF européen (Règlement UTCATF 2018/841, mentionné plus haut). Un niveau de puits forestier objectif est également calculé (dit « FRL » pour Forest Management Level), auquel les émissions et absorptions des forêts sont comparées. L'estimation provisoire pour les années 2021, 2022 et 2023 est visible ci-dessous (le périmètre n'inclut pas les boisements ou nouvelles forêts) :



Comparaison des émissions réelles et projetées de CO2e des forêts au titre du Règlement européen 2018/841

[53] Lire notre article sur le projet de mise à jour de la SFEC - Publication des textes clés de la stratégie française climat énergie : SNBC, PPE, PNACC, 12 novembre 2024

Détail par gaz

CO_2 | Dioxyde de carbone

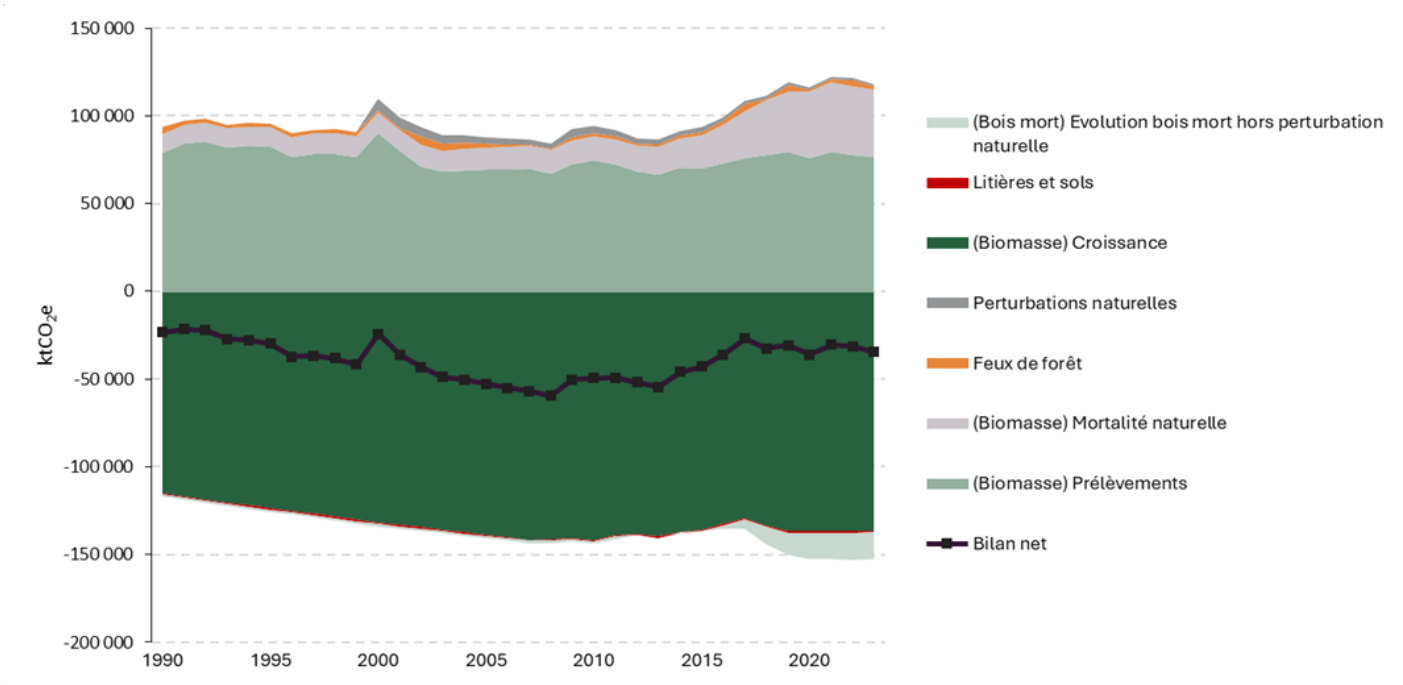
L'inventaire du secteur UTCATF vise surtout les flux de CO_2 associés aux différents compartiments carbone. Les principales dynamiques associées à ces flux sont les suivantes :

- Croissance de la biomasse aérienne et racinaire (arbres en forêt principalement) : absorption de CO_2.
- Mortalité de la biomasse aérienne et racinaire (arbres en forêt principalement) : émission de CO_2.
- Prélèvements de bois (récolte de bois d'œuvre et d'industrie, bois énergie) : émission de CO_2.
- Feux de forêt : émission de CO_2.
- Variation du stock de carbone dans la matière organique du sol (en lien avec les changements d'usage ou les évolutions de pratiques agricoles) : absorption ou émission de CO_2 selon les cas.
- Variation du stock de carbone dans le bois mort, en lien avec la mortalité naturelle ou les tempêtes : absorption ou émission de CO_2 selon les cas.
- Variation du stock de carbone dans les produits bois : absorption ou émission de CO_2 selon les cas.
- Changement d'utilisation des terres (par exemple : déboisement pour usage agricole ; artificialisation d'une prairie ; boisement d'une friche ; drainage de zone humide ; etc.) : absorption ou émission de CO_2 selon les cas (selon que l'usage final ait un stock de carbone plus important ou non que l'usage initial). Ces variations de stocks concernent alors la biomasse, la litière, le bois mort et les sols : absorption ou émission de CO_2 selon les cas.
- Drainage des sols organiques cultivés : émission de CO_2 (le N_2O lié à ce phénomène est quant à lui rapporté en Agriculture selon les règles CCNUCC/GIEC).

Ces flux annuels d'émissions et d'absorption se compensent en partie, mais sont largement à l'avantage des absorptions, d'où un bilan total de puits net pour le secteur UTCATF. Ce puits net a globalement augmenté jusqu'en 2008, principalement en raison de la hausse du puits forestier. Le recul de l'agriculture au profit de surfaces boisées dans certaines zones rurales et un taux de récolte peu intensif sur une partie du domaine forestier français ont expliqué cette capitalisation de carbone dans les forêts françaises, avec une croissance sur pied et une croissance en surface de la forêt. Néanmoins, cette hausse générale du puits est à nuancer par des événements ponctuels : les tempêtes de 1999 et de 2009, qui ont généré des dégâts importants et qui sont à l'origine de baisses ponctuelles du puits (forte mortalité en forêt). Il est important de noter que la récolte forestière a augmenté ponctuellement les années suivant les épisodes de tempêtes en 1999, et dans une moindre mesure en 2009 et que tous les réservoirs de carbone sont fortement impactés par ces perturbations.

Depuis la fin des années 2000, un ralentissement de la progression du stock de carbone en forêt est observé, se traduisant par une baisse du puits qui s'amplifie brutalement à partir de 2013. Les données de l'inventaire forestier national (utilisées pour l'inventaire Citepa, voir Memento 2024) rapportent que la croissance des arbres sur la période 2014-2022 s'est ralentie de 4% par rapport à 2005-2013. Les sécheresses à répétition couplées à divers épisodes sanitaires expliquent cette dynamique, ainsi qu'une forte augmentation de la mortalité (+ 105% sur cette même période). Parallèlement, les prélèvements ont augmenté de 13%. Une part de ces prélèvements comprend les dégâts accidentels et les récoltes dans les peuplements touchés par les épisodes sanitaires, les données de mortalité et de prélèvements sont donc à analyser conjointement.

Les successions d'années sèches depuis 2015 ont imposé aux essences des conditions difficiles, amplifiées lorsque les arbres étaient localisés dans des zones aux conditions non optimales pour l'essence (par exemple les épicéas en plaine). Les aires de répartition des espèces (déterminées par divers critères dont les disponibilités hydriques) évoluent avec le changement climatique, et de forts enjeux reposent dans la capacité d'adapter les forêts à ces nouvelles conditions. Cela peut passer par des évolutions en termes de gestion, de choix des essences ou encore d'équipement contre les risques incendies, qui commencent à concerner des zones jusque-là épargnées. Les aires de répartition des bioagresseurs évoluent également, et ils peuvent toucher de nouvelles régions.



Bilan net pour le sous-secteur forêt de l'UTCATF, métropole uniquement, en $ktCO_2e$

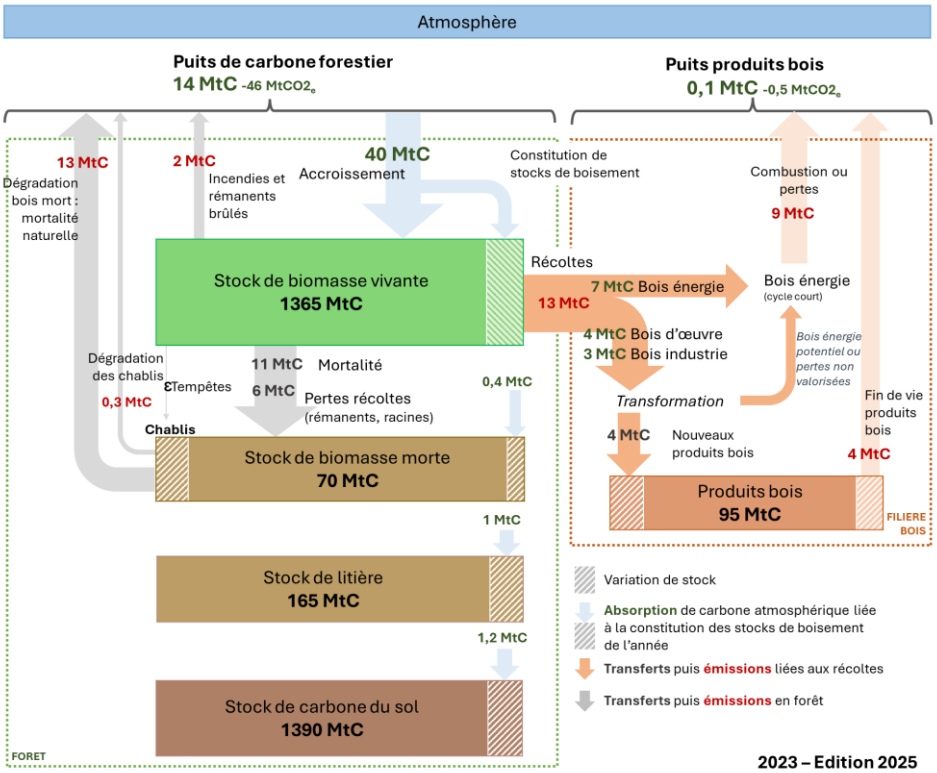
Il est à noter que les événements ayant eu lieu lors des années récentes (tel que l'épisode de surmortalité 2018-2021 lié aux scolytes dans le Nord-Est) auront un impact dans l'inventaire pendant plusieurs années. En effet, les données diffusées par l'inventaire forestier sont des campagnes quinquennales, soit des moyennes glissantes de 5 ans. Cela crée une inertie. Ce phénomène de campagnes glissantes signifie que l'année 2018 comptera dans les moyennes de la période 2014-2018 (assimilée à l'année 2016 dans l'inventaire Citepa), jusqu'à la période 2018-2022 (qui sera assimilée à l'année 2020). Ces campagnes quinquennales tendent à lisser les variations interannuelles et donc l'impact des phénomènes de court ou moyen terme.

D'autre part, pour le moment, en raison des incertitudes scientifiques, le bilan carbone forestier en Guyane ne propose un calcul que sur les surfaces exploitées par la sylviculture (sur une très faible part du massif forestier guyanais) et sur les pertes de carbone liées aux défrichements. En lien avec ces choix méthodologiques, le bilan carbone de ce territoire (représentant pourtant en surfaces un tiers de la forêt française) est quasi nul. L'impact de la Guyane sur le bilan de carbone forestier français repose alors majoritairement sur ses pertes dues aux défrichements (pour l'orpaillage ou l'installation agricole par exemple), pesant pour environ 1/3 des émissions liées aux défrichements de l'inventaire français métropole plus Outre-Mer.

Le bilan des produits bois (c'est-à-dire le bilan, chaque année, entre nouveaux produits bois, stockant temporairement du carbone, et les produits bois partant en fin de vie) représente un puits net, mais ce puits diminue depuis 1990, en raison de production plus forte de produits à plus courte durée de vie. La réorientation des usages du bois vers des produits à longue durée de vie est un enjeu important pour l'augmentation du puits de carbone français.

Flux de carbone et de CO_2

Le schéma ci-dessous permet de visualiser les flux pris en compte dans l'inventaire pour les forêts métropolitaines. Les composantes principales du puits forestier y figurent (accroissement, mortalité, récoltes), impactant l'évolution du stock de biomasse vivante. Les stocks de carbone dans la biomasse morte, la litière et les sols évoluent uniquement en lien avec les variations de la surface forestière, sinon ils sont à considérés à l'équilibre. Le carbone présent dans le bois issu des récoltes est soit considéré tout de suite réémis vers l'atmosphère (bois énergie), soit permet l'augmentation du stock de produits bois. Ce flux est mis en regard du flux des produits bois en fin de vie (mise en décharge, etc.) pour obtenir le puits potentiel dans les produits bois.



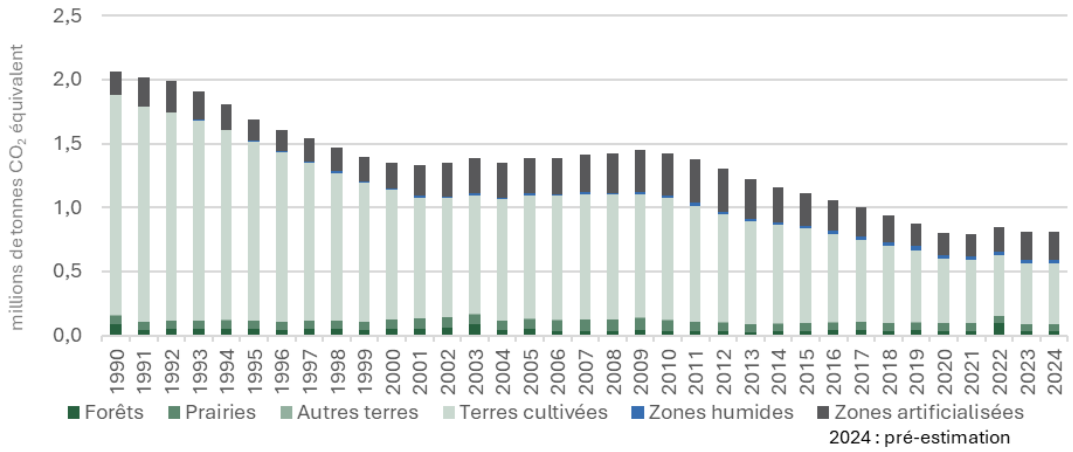
Détail des flux et stocks principaux du puits forêt bois en France métropolitaine

N_2O | Protoxyde d'azote

Les émissions de N_2O du secteur UTCATF représentent 2,8% des émissions totales de N_2O en 2023 (tous secteurs y compris UTCATF). Les principales sources de ces émissions sont les suivantes :

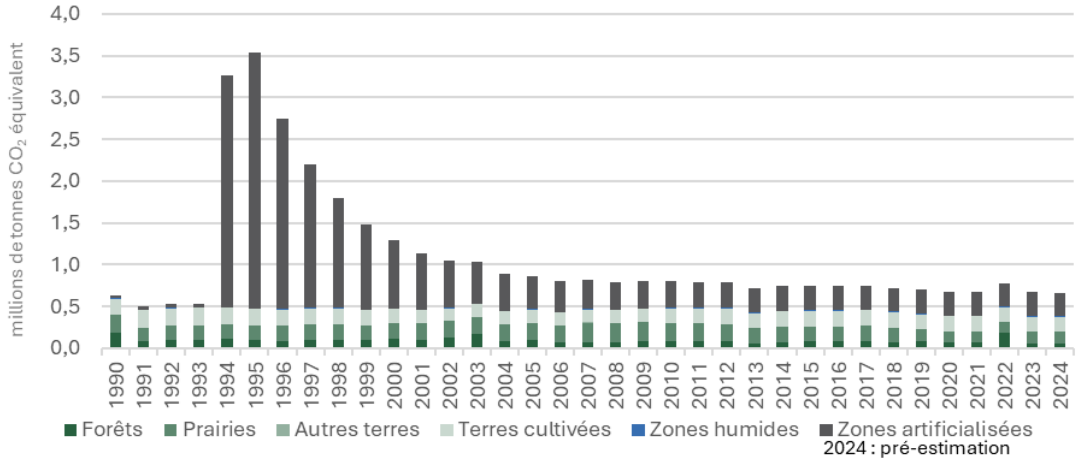
- Minéralisation de l'azote lors de la perte de carbone de sol (émissions directes et indirectes) ;
- Brûlage sur site de résidus de récolte de bois.
- Feux de forêt ;
- NB. Emissions de N_2O non incluses :
  - Emissions de N_2O des zones humides (incluses dans les émissions indirectes de l'agriculture).
  - Emissions de N_2O liées au drainage des sols organiques cultivés (rapportées en agriculture dans la sous-catégorie Autres émissions des cultures).

Les émissions de N_2O du secteur UTCATF sont passées de 2066 $ktCO_2e$ en 1990 à 808 $ktCO_2e$ en 2023 (soit respectivement 8 et 3 kt de N_2O) avec une stabilisation depuis 2020. La part de l'UTCATF dans les émissions nationales de N_2O varie autour de 3% depuis 1990.



Répartition des émissions de N_2O du secteur de l'UTCATF en France (Métropole et Outre-mer UE)

CH_4 | Méthane



Répartition des émissions de CH_4 du secteur de l'UTCATF en France (Métropole et Outre-mer UE).
Zones artificialisées : inclut ici la sous-catégorie des barrages, avec les émissions du barrage de Petit-Saut en Guyane.

Des émissions de méthane ont aussi lieu dans le secteur UTCATF. Les émissions de CH_4 du secteur UTCATF ne représentent qu'environ 1% des émissions totales de CH_4 (tous secteurs y compris UTCATF).

Les principales sources de ces émissions sont les suivantes :

- Brûlage sur site de résidus de récolte de bois.
- Feux de forêt.
- Drainage des sols organiques cultivés (le N_2O lié à ce phénomène est quant à lui rapporté en Agriculture selon les règles CCNUCC/GIEC).
- Emissions liées à la mise en eau du barrage de Petit-Saut en Guyane
- Emissions de CH_4 des zones humides (rapportées hors total).

Les émissions de méthane sont à la fois stables et incertaines, elles sont liées au brûlage sur site des résidus de récoltes de bois, dont les données sont peu référencées et par nature peu robustes.

▶ En savoir plus

Méthode d'estimation détaillée : Rapport Ominea, chapitre UTCATF

Inventaire forestier national : site web

Plan Comptable Forestier National de la France incluant le Niveau de Référence pour les Forêts (FRL) pour les périodes 2021-2025 et 2026-2030 : site du MTES ; télécharger le rapport

L'IF, n°47. 2021. Santé des forêts – Analyse des principales données sanitaires : site web

Mémento 2024 de l'Inventaire forestier national : memento_2024.pdf (ign.fr)

Iversen, Lee & Rocha. 2014. Comprendre l'utilisation des terres dans la CCNUCC : télécharger

Aude Valade, Valentin Bellassen. Réchauffement du climat: est-ce que la forêt française peut apporter des solutions d'ici 2050 ?. Sciences Eaux & Territoires, INRAE, 2020, pp.70-77.

GIEC 2020. Changement climatique et terres émergées. Résumé à l'intention des décideurs : télécharger le rapport

Émissions naturelles

Rédaction : **Quentin BÉDRUNE, Étienne MATHIAS, Etienne DELORT**

En bref

Dans le cadre des rapportages officiels, seules les émissions anthropiques de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques doivent être inventoriées et rapportées dans le total national. Néanmoins, plusieurs sources d'émissions naturelles sont estimées, même si l'incertitude reste importante, et que ces calculs ne se veulent pas exhaustifs.

Une première source naturelle concerne des émissions liées à la végétation : les composés organiques volatiles d'origine biotique.

Le second type de sources d'émissions naturelles concerne des procédés abiotiques (foudre, volcanisme) et les animaux.

Description du secteur

Panorama et enjeux

Il existe des émissions naturelles de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques. Ces émissions participent à l'effet de serre et à la pollution atmosphérique au même titre que les émissions anthropiques. Mais en raison de leur origine, aucun cadre réglementaire ne s'applique à ces sources d'émissions. On notera néanmoins que la distinction entre sources naturelles, directement ou indirectement anthropiques peut être difficile (voir chapitre UTCATF), car peu de phénomènes échappent désormais à une influence humaine.

Différence entre émissions naturelles et carbone biogénique

Les flux naturels de gaz à effet de serre ne sont pas à confondre avec le *carbone biogénique*. Le carbone biogénique désigne le carbone organique contenu dans la biomasse, et qui peut être réémis lors de l'utilisation de cette biomasse (par exemple pour produire de l'énergie). Le carbone séquestré, par photosynthèse, dans les forêts gérées (en France, on considère que 100% des forêts sont gérées, même à titre de protection), est un flux de CO_2 considéré comme *anthropique (même indirectement)*, rapporté dans le secteur UTCATF, et non un flux considéré comme purement *naturel*. Les émissions issues de l'utilisation énergétique de biomasse (biogénique) sont aussi estimées comme anthropiques.

Comptabilisation hors total

Les émissions naturelles sont estimées dans l'inventaire mais sont rapportées « hors-total », c'est-à-dire qu'elles ne sont pas incluses dans le total national des émissions des différentes substances, en cohérence avec les spécifications des autres formats de rapportage (CCNUCC, CEE-NU).

Néanmoins toutes les émissions et absorptions de substances par des phénomènes biologiques ne sont pas considérées comme naturelles : les flux de CO_2 liés à la croissance et à la mortalité des arbres, dès lors qu'ils ont lieu en zone gérée (au sens du GIEC, la gestion étant entendue au sens large), sont comptabilisés dans le secteur UTCATF (voir le chapitre consacré à ce secteur).

Émissions incluses dans ce secteur

Les émissions naturelles sont issues de phénomènes non-anthropiques (géologie, biologie…) pour lesquels on considère qu'il n'y a, *a priori*, pas de responsabilité des activités humaines :

- **foudre** : pendant un orage, les éclairs (décharges électriques) entraînent des augmentations de température très importantes qui induisent une forte ionisation des molécules en présence, en particulier de l'oxygène (O_2) et de l'azote (N_2). Cette ionisation conduit à la formation de NO. Il se produit ensuite un refroidissement très rapide qui permet de stabiliser les molécules d'oxydes d'azote nouvellement formées. Ainsi, des émissions de NOx sont générées par la foudre et sont estimées ici.
- **volcans** : le volcanisme est responsable d'émissions, que ce soit pendant les phases d'activité (éruptions notamment) qu'en dehors. Les émissions les plus importantes sont issues du magma très chaud. En l'état actuel des méthodes d'estimation de l'inventaire, cela concerne le SO_2 et le CO_2 principalement.
- **végétation** : les formations végétales présentes dans les forêts, les prairies et les cultures synthétisent naturellement des composés organiques volatils, au cours de leur croissance, en réponse à des blessures, aux variations de températures, etc. On parle de COV biotique, ou biogénique.
- **zones humides naturelles** : émissions de gaz à effet de serre des lacs et marais non gérés.
- **animaux sauvages** : par exemple émissions de méthane des termites. Ces émissions ne sont actuellement pas estimées dans l'inventaire.

A noter que toutes les émissions naturelles ne sont pas estimées. Par exemple, les émissions et absorptions de gaz à effet de serre des mers et océans (parfois appelé « carbone bleu », voir encadré ci-dessous), non inclus dans le secteur UTCATF car considérés non anthropiques et en dehors du périmètre de comptabilisation des inventaires nationaux, ne sont actuellement pas estimées dans l'inventaire. De même, les émissions liées aux animaux domestiques ne sont pas estimées non plus. Ainsi, **l'inventaire national ne permet pas de réaliser un bilan absolument complet des flux de gaz à effet de serre et de polluants vers l'atmosphère** ayant lieu sur le territoire français.

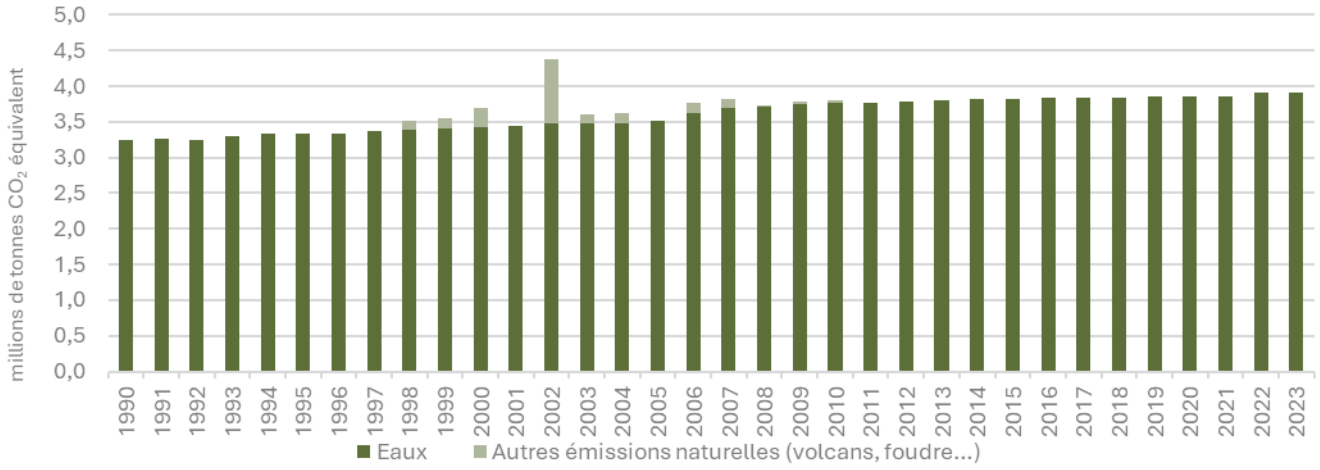
Le carbone bleu

Les mers et océans ont la capacité de séquestrer et de stocker du carbone, notamment dans les fonds marins sédimentaires mais aussi dans les écosystèmes marins et littoraux (algues, mangroves…), comme l'avait montré en 2009 un rapport de référence sur le sujet sous l'égide du PNUE et de la FAO (Nelleman et al., 2009). Ce « carbone bleu » n'est pas comptabilisé dans l'inventaires national, qui se concentrent sur les flux de carbone des terres gérées. En France, le rapport EFESE (2020) sur les services écosystémiques avait proposé des premières quantifications du stockage de carbone dans les eaux territoriales françaises.

Émissions de gaz à effet de serre

Vue d'ensemble

Toutes les émissions de gaz à effet de serre des sources naturelles ne sont pas estimées de manière exhaustive dans l'inventaire. Actuellement, seules les émissions des volcans sont estimées pour le CO_2. Néanmoins, des émissions de N_2O et de CH_4 issues des eaux de surfaces (zones humides, marais) pèsent dans le total des émissions de gaz à effet de serre des émissions naturelles, même si ces estimations sont provisoires (voir ci-dessous).



Répartition des émissions de CO_2e du secteur des émissions naturelles (hors total national) en France (Métropole et Outre-mer UE)

Analyse détaillée par gaz à effet de serre

CO_2 | Dioxyde de carbone

Pour le CO_2, seul le volcanisme est ici considéré comme source naturelle. Dans l'inventaire français, tous les volcans en activité sur la période récente sont situés en Outre-mer : le Piton de la Fournaise à la Réunion (en éruption lors des années récentes) ; la soufrière en Guadeloupe (dernière éruption en 1976), la Montagne Pelée en Martinique (dernière éruption en 1932). Les différents pics d'émissions depuis 1990 correspondent donc uniquement aux éruptions du **Piton de la Fournaise à la Réunion**, un volcan très actif : depuis deux siècles on observe en moyenne environ une éruption par an. Il s'agit d'un volcan de point chaud, dont les éruptions sont généralement effusives. Les éruptions les plus marquantes ont eu lieu en 1998, 2007 et 2015, et connait des séries d'éruptions plus ou moins fortes depuis 2015 ; mais en termes d'émissions, c'est l'année 2002 qui constitue l'année la plus importante. La méthode d'estimation reste encore à améliorer et l'incertitude associée à ces chiffres est importante.

Ces émissions sont estimées à environ 0,1 Mt CO_2 pour la fin des années 1990 et les années 2000, avec un pic à 0,9 Mt CO_2 en 2002.

CH_4 | Méthane et N_2O | Protoxyde d'azote

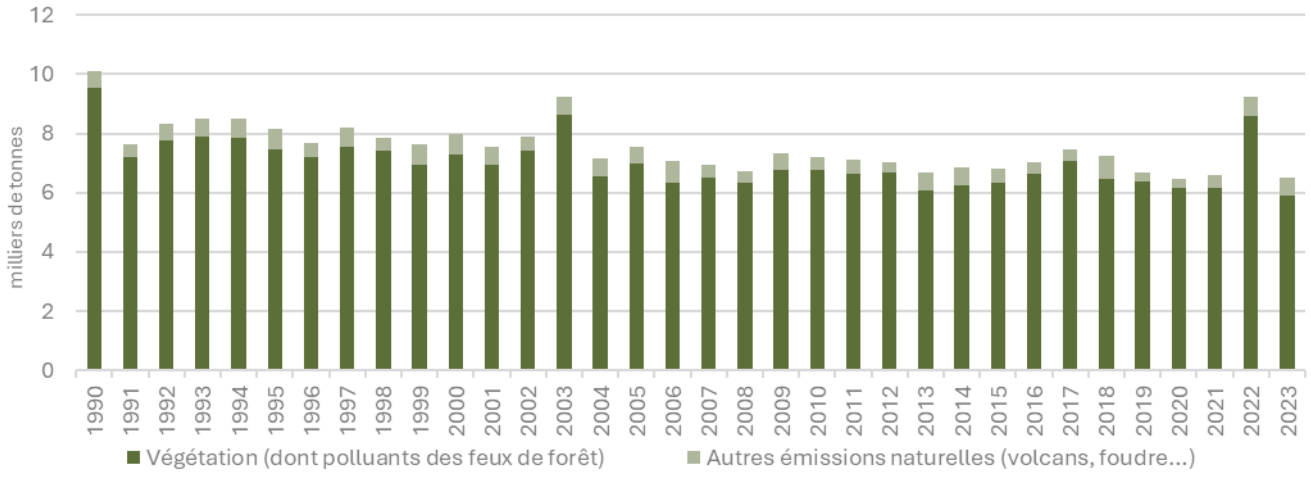
Des émissions naturelles de méthane et de protoxyde liées aux zones humides et eaux de surface sont estimées. Les variations d'émissions sont uniquement liées aux variations de superficie de ces espaces. Des émissions de 3,2 en 1990 à 3,8 Mt CO_2e dans les années récentes sont estimées sur la base de facteurs d'émissions par défaut. Néanmoins, il convient d'interpréter ces résultats provisoires avec prudence, car des travaux supplémentaires sur ces sources d'émissions sont nécessaires. A noter que les émissions issues de zones humides et en eau gérées (par exemple : lacs de barrage) sont rapportées dans le secteur UTCATF.

Émissions de polluants atmosphériques

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique (AEPP)

SO_2 | Dioxyde de soufre, | NO_X | Oxydes d'azote et NH_3 | Ammoniac

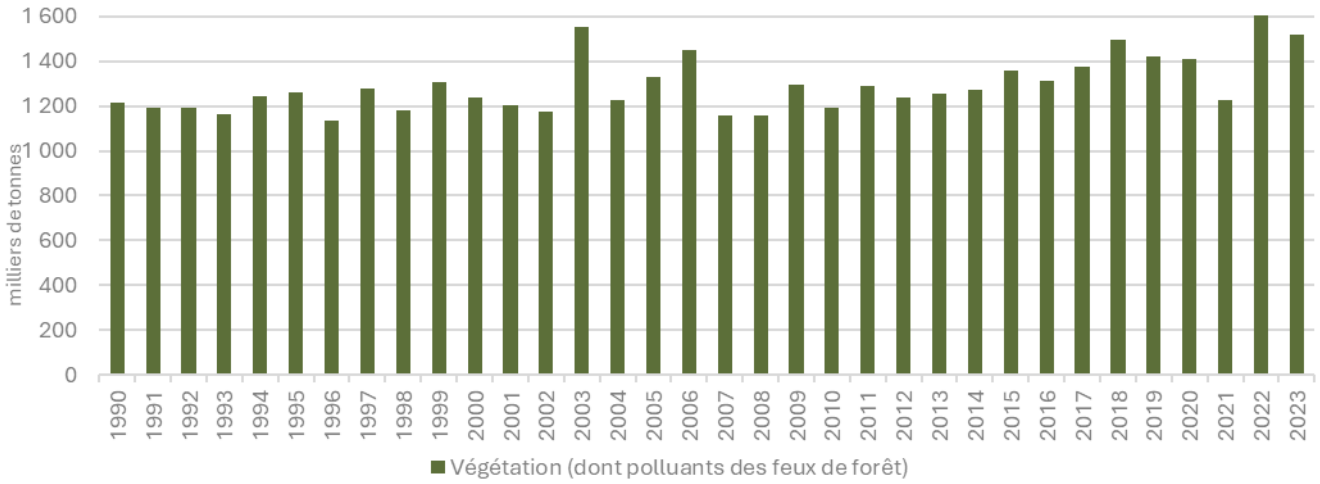
Des émissions de polluants (acidifiants, polluants organiques persistants, particules) sont générées par les feux de forêt. Les règles de rapportage international de l'inventaire des polluants atmosphériques (format CEE-NU, voir chapitre *Comprendre les données*) considèrent ces émissions de polluants issues des feux de forêt comme des émissions naturelles, comptabilisées en dehors du total national (contrairement aux émissions de gaz à effet de serre de ces feux qui eux sont bien comptabilisés dans le secteur UTCATF). Depuis 1970, les surfaces des feux de forêt en France suivent globalement une tendance à la baisse. Les années marquées par des surfaces incendiées de plus de 40 000 hectares sont beaucoup plus fréquentes avant 1990 (ex : années 1973, 1976 et 1989). Depuis les années records de 1989 et 1990 avec plus de 70 000 hectares brûlés, la France a subi deux années marquantes, d'abord en 2003 puis très récemment en 2022 avec 59 000 hectares brûlés. En dehors de ces années extrêmes, on observe une moyenne de 40 000 ha brûlés par an dans les années 1970 et 1980, puis 20 000 ha brûlés par an dans les années 1990 et 2000, puis 10 000 ha/an entre les années 2010 jusqu'en 2021. Les années 2023 et 2024 marquent un retour à la normale avec respectivement 4000 et 5000 ha brûlés (l'estimation de 2024 sera consolidée dans l'édition 2026 du rapport Secten).



Répartition des émissions de NOx du secteur des émissions naturelles (hors total national) en France (Métropole)

COVNM | Composés organiques volatils

Les émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) issues de sources naturelles qui ne sont pas comptabilisées dans le total national sont des COV dits « biotiques », car générées naturellement par les espèces végétales (cultivées ou non). Ces émissions restent assez stables, la majorité provenant des forêts. Les fluctuations interannuelles dépendent des surfaces en question mais aussi des variations des conditions météorologiques. Comme les émissions du total national diminuent depuis 1990, la proportion de ces émissions naturelles au regard des émissions totales (total national + hors total) est de plus en plus importante, passant de près de 30% en 1990 à plus de 60% dans les années récentes.

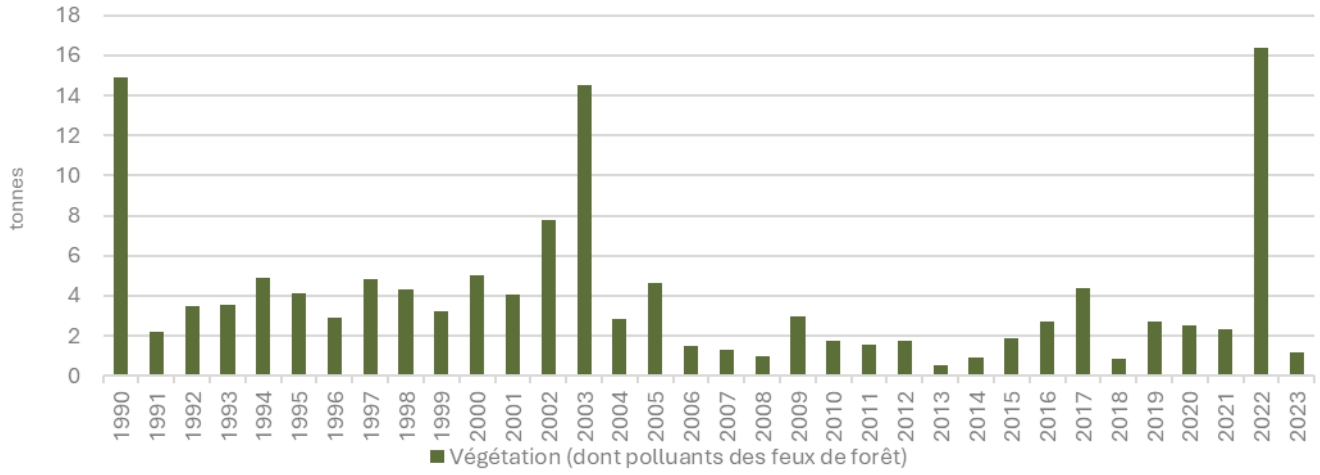


Répartition des émissions de COVNM du secteur des émissions naturelles (hors total national) en France (Métropole)

POP | Polluants organiques persistants

HAP

Des émissions de HAP sont générées par les feux de forêt. Les règles de rapportage international de l'inventaire des polluants atmosphériques (format CEE-NU, voir chapitre *Comprendre les données*) considèrent ces émissions de polluants issues des feux de forêt comme des émissions naturelles, comptabilisées en dehors du total national (contrairement aux émissions de gaz à effet de serre de ces feux qui eux sont bien comptabilisés dans le secteur UTCATF).

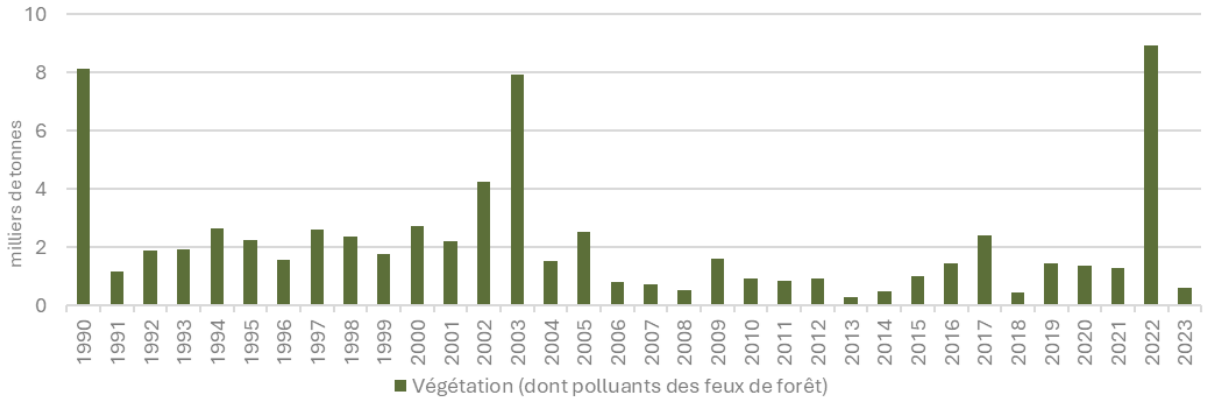


Répartition des émissions de HAP du secteur des émissions naturelles (hors total national) en France (Métropole)

PM | Particules

TSP, PM_{10}, $PM_{2,5}$, BC

Des émissions de particules sont générées par les feux de forêt. Les règles de rapportage international de l'inventaire des polluants atmosphériques (format CEE-NU, voir chapitre *Comprendre les données*) considèrent ces émissions de polluants issues des feux de forêt comme des émissions naturelles, comptabilisées en dehors du total national (contrairement aux émissions de gaz à effet de serre de ces feux qui eux sont bien comptabilisés dans le secteur UTCATF)).



Répartition des émissions de $PM_{2,5}$ du secteur des émissions naturelles (hors total national) en France (Métropole)

► La méthode de calcul de l'inventaire national d'émissions de GES et de polluants est présentée en détail, par secteur, dans le **rapport annuel Ominea** du Citepa.

Annexes

Glossaire

A

AASQA Association agréée de surveillance de la qualité de l'air

ADEME Agence de la transition écologique

Aeq Acide équivalent

AFCE : Alliance Froid Climatisation Environnement

Agreste Statistiques et études sur l'agriculture, la forêt, les industries agroalimentaires, l'occupation du territoire, les équipements et l'environnement en zone rurale

AIE/IEA Agence Internationale de l'Energie

APU Auxiliary Power Unit / équipement de production d'énergie auxiliaire

As Arsenic

AWACS Airborne Warning and Control System (en français : système de détection et de commandement aéroporté)

B

BaP Benzo(a)pyrène

BbF Benzo(b)fluoranthène

BC Black Carbon (carbone suie)

BkF Benzo(k)fluoranthène

BTP Bâtiment et Travaux Publics

C

CAFE Clean Air For Europe (programme de la Commission européenne)

CCFA Comité des Constructeurs Français d'Automobiles

CCNUCC Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques – *United Nations Framework Convention on Climate Change* (*UNFCCC*)

CCTN Commission des Comptes des Transports de la Nation

Cd Cadmium

CE Commission européenne

CEE-NU Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies – *United Nations Economic Commission for Europe* (*UNECE*)

CF4 Tétrafluorure de carbone

CFC ChloroFluoroCarbures

CH4 Méthane

CITL Registre indépendant des transactions communautaires

CMS Combustibles Minéraux Solides

CO Monoxyde de carbone

CO2 Dioxyde de carbone

CO2e Equivalent CO2

COD Carbone Organique Dégradable

COMOP COMité Opérationnel de Programmes

COP Conférence des Parties

COPERT COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport

CORINAIR CORe INventory of AIR emissions

COV Composés Organiques Volatils

COVNM Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

CPATLD/LRTAP Convention de la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies relative à la Pollution Atmosphérique Transfrontière à Longue Distance

CPDP : Comité Professionnel du Pétrole

Cr Chrome

CRF *Common Reporting Format* / Format de Rapportage Commun

CRT Common Reporting Tables

Cu Cuivre

CVD *Chemical Vapour Deposition* / Dépôt chimique en phase vapeur

D

DG ENV Direction générale de l'Environnement de la Commission européenne

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

DGEC Direction Générale de l'Energie et du Climat

DJU Degré-Jour Unifié

DREAL Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

E

EACEI Enquête Annuelle des Consommations d'Energie dans l'Industrie

ECS Eau chaude sanitaire

EDF Electricité De France

EEA *European Environment Agency* (Agence européenne pour l'environnement)

EFFIS : Système européen d'information sur les feux de forêt

EMAG Ester méthylique d'acides gras

EMEP European Monitoring and Evaluation Programme

EMNR Engins Mobiles Non-Routiers

EnR Energie renouvelable

E-PRTR European Pollutant Release and Transfer Register

EU-ETS European Union Emissions Trading System (Système d'échanges de quotas d'émission de l'Union européenne ou SEQE)

EUROSTAT Office statistique de l'Union Européenne

F

FAP Filtre à particules

FCC Fluid Catalytic Cracking unit / craquage catalytique en lit fluide

FE Facteur d'émission

FOD fioul domestique

FOL fioul lourd

G

g gramme

GCIIE Groupe de Concertation et d'Information sur les Inventaires d'Emission

GEREP Gestion Electronique du Registre des Emissions Polluantes

GES Gaz à Effet de Serre

Gg 1 Gg (Gigagramme) = 1 000 Mg = 1 kt = 1 000 t

GIC Grande Installation de Combustion

GIEC Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat / *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)

g-iteq Gramme équivalent toxique international

GNV Gaz Naturel pour Véhicules

GPL Gaz de Pétrole Liquéfié

GPLc Gaz de Pétrole Liquéfié carburant

H

H Hydrogène

ha hectare

HAP Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HCB HexaChloroBenzène

HCFC HydroChloroFluoroCarbures

HCl Acide chlorhydrique

HFC HydroFluoroCarbures

Hg Mercure

Hors PTOM Hors Pays et Territoires d'Outre-mer (à la date d'édition du présent rapport La Réunion, Guadeloupe, Martinique, Guyane, Saint-Martin et Mayotte)

I

IAA Industries Agro-Alimentaires

IAI Institut International de l'Aluminium

IED directive sur les émissions industrielles / Industrial Emissions Directive

IndPy Indéno(1,2,3-cd)pyrène

INERIS Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INSEE Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

IPCC *Intergovernmental Panel on Climate Change* / Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)

IPPC prévention et réduction intégrées de la pollution / integrated pollution, prevention and control

ISDND Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux

ITEQ International Toxic Equivalent / Equivalent toxique international

J

JOCE Journal Officiel des Communautés Européennes (avant 2003)

JOUE Journal Officiel de l'Union Européenne (depuis 2003)

K

kg kilogramme

km kilomètre

kt kilotonne

kW kilowatt

L

LTE Loi Transition Energétique

LTO Cycle d'atterrissage/ décollage (< 1000m) (Landing and Take Off)

M

MDP Mécanisme pour le Développement Propre

Mg 1 Mg (Mégagramme) = 1 t (tonne)

mg milligramme

ML Métaux Lourds

MMR Mécanisme pour la surveillance et la déclaration des émissions de GES

Mn Manganèse

MOC Mise en OEuvre Conjointe

Mt Mégatonne ou million de tonnes

MTES Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

MW Mégawatt

MWth Mégawatt thermique

N

N Azote

N2O Protoxyde d'azote

NAF Nomenclature d'Activités Française

NAPFUE Nomenclature for Air Pollution of FUElS

NDC Contribution déterminée au niveau national

NEC National Emission Ceilings / Plafonds d'émission nationaux

NFR *Nomenclature For Reporting* (Nomenclature pour le rapportage)

NH3 Ammoniac

Ni Nickel

NO Monoxyde d'azote

NO2 Dioxyde d'azote

NOx Oxydes d'azote (NO + NO2)

NU Nations-Unies

O

OACI Organisation de l'Aviation Civile Internationale

OCF One Component Foam (mousse à composant unique)

OMINEA Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France

ONU Organisation des Nations Unies

OPALE Ordonnancement du PArc en Liaison avec les Emissions

P

Pb Plomb

PCAET Plan Climat Air Energie Territorial

PCB PolyChloroBiphényles

PCDD/F Dioxines et furannes

PCI Pouvoir Calorifique Inférieur

PED Pays en développement

PER Tétrachloroéthylène

PFC PerFluoroCarbures

PIB Produit Intérieur Brut

PL Poids lourds

PM Matière sous forme particulaire

PM10 Particules de diamètre inférieur à 10 microns

PM2,5 Particules de diamètre inférieur à 2,5 microns

PM1,0 Particules de diamètre inférieur à 1 micron

PNAQ Plan National d'Affectation des Quotas

PNLCC Plan National de Lutte contre le Changement Climatique

PNSE Plan National Santé Environnement

POP Polluants Organiques Persistants

PPA Plan de protection de l'atmosphère

PPE Programmation pluriannuelle de l'énergie

PREPA Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques

PRG/GWP Potentiel de Réchauffement Global / Global Warming Potential

PRQA Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air

PTOM Pays et Territoires d'Outre-mer (à la date d'édition du présent rapport, la Polynésie Française, Wallis-et-Futuna, St-Pierre-et-Miquelon, la Nouvelle- Calédonie et les Terres

Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) et Clipperton)

PVC PolyVinylChloride / PolyChlorure de Vinyle

R

2RM/2R Deux roues

REACH Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals

S

SAO Substances appauvrissant la couche d'ozone

SCR Réduction Sélective Catalytique

SDES Service de la Donnée et des Etudes Statistiques du Ministère de l'Environnement

Se Sélénium

SECTEN SECTeurs économiques et ENergie

SEQE Système d'Echange des Quotas d'Emissions

SF_6 Hexafluorure de soufre

SMQ Système de Management de la Qualité

SNAP Selected Nomenclature for Air Pollution / Nomenclature Spécifique pour la Pollution de l'Air

SNAPc SNAP étendue par le Citepa

SNBC Stratégie nationale « Bas Carbone »

SNIEBA Système National d'Inventaire d'Emissions et de Bilans dans l'Atmosphère

SO2 / SO3 Dioxyde de soufre / Trioxyde de soufre

SSP Service de la Statistique et de la Prospective

step station d'épuration

T

t tonne

TAAF Terres Australes et Antarctiques Françaises

TAG Turbine A Gaz (synonyme : TAC : Turbine à Combustion)

TCE Trichloroéthènes

tep tonne équivalent pétrole

TFA Trifluoroacétique

Tg 1 Tg (Téragramme) = 1 000 Gg = 1 000 000 Mg = 1 000 kt = 1 000 000 t

TRI Trichloroéthylène

TRM Transport Routier Marchandises

TRV Transport Routier Voyageurs

TSP Total Suspended Particules / Particules Totales en Suspension

U

UE Union Européenne / European Union (EU en anglais)

UIDND Usine d'Incinération des Déchets Non Dangereux

UNIFA : Union des Industries de la Fertilisation

UTCATF Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie (Land Use, Land Use Change and Forestry – LULUCF en anglais)

V

VP Voiture Particulière

VLE Valeur Limite d'Emission

VU Véhicule Utilitaire

VUL Véhicule Utilitaire Léger

Z

ZCR Zone de circulation restreinte

Zn Zinc

µ

µg microgramme

Unités

1 T (1 Téra)
1000 milliards (1012)

1 G (1 Giga)
1 milliard (109)

1 M (1 Méga)
1 million (106)

1 k (1 kilo)
mille (103)

1 m (1 milli)
1 millième (10-3)

1 µ (1 micro)
1 millionième (10-6)

1 n (1 nano)
1 milliardième (10-9)

1 p (1 pico)
1 millionième de millionième (10-12)

1 ppm
1 partie par million

1 ppb
1 partie par milliard

SNIEBA

Système National d'Inventaires d'Emission et de Bilans dans l'Atmosphère. Contexte réglementaire de l'inventaire

Cette section décrit les principales composantes et caractéristiques organisationnelles du système national d'inventaires des émissions de polluants dans l'atmosphère conformément aux dispositions mises en place par le **Ministère chargé de l'Environnement (MTEBFMP)**, en particulier, l'arrêté du 24 août 2011 relatif au système national d'inventaires d'émission et de bilans dans l'atmosphère (SNIEBA).

Dispositions institutionnelles, législatives et procédurales

Les pouvoirs publics s'attachent à disposer de données relatives aux émissions de polluants dans l'atmosphère qui correspondent quantitativement et qualitativement aux différents besoins nationaux et internationaux du fait de l'importance de ces données pour identifier les sources concernées, définir les programmes appropriés d'actions de prévention et de réduction des émissions, informer les nombreux acteurs intervenant à divers titres et sur divers thèmes en rapport avec la pollution atmosphérique.

La responsabilité de la définition et de la maîtrise d'ouvrage du système national d'inventaire des émissions de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère appartient au **Ministère chargé de l'environnement : Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche** (MTEBFMP).

Le MTEBFMP prend en coordination avec les autres ministères concernés les décisions utiles à la mise en place et au fonctionnement du SNIEBA, en particulier les dispositions institutionnelles, juridiques ou de procédure. A ce titre, il définit et répartit les responsabilités attribuées aux différents organismes impliqués. Il met en œuvre les dispositions qui assurent la mise en place des processus relatifs à la détermination des méthodes d'estimation, à la collecte des données, au traitement des données, à l'archivage, au contrôle et à l'assurance de la qualité, la diffusion des inventaires tant sur le plan national qu'international ainsi que les dispositions relatives au suivi de la bonne exécution.

La multiplicité des besoins conduisant à l'élaboration d'inventaires d'émission de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère portant souvent sur des substances et des sources similaires justifie dans un souci de cohérence, de qualité et d'efficacité de retenir le **principe d'unicité du système d'inventaire**. Cette stratégie correspond aux recommandations des instances internationales telles que la Commission européenne et les Nations unies.

Les inventaires d'émission doivent garantir diverses qualités de cohérence, comparabilité, transparence, exactitude, ponctualité, exhaustivité qui conditionnent l'organisation du système tant sur le plan administratif que technique.

L'organisation du système actuel a fait l'objet de **l'arrêté interministériel (SNIEBA) du 24 août 2011 qui annule et remplace l'arrêté du 29 décembre 2006 relatif au système national d'inventaires des émissions de polluants dans l'atmosphère**.

Cette organisation est conforme au cadre directeur des systèmes nationaux de la CCNUCC, du GIEC prévu au paragraphe 1 de l'article 5 du protocole de Kyoto et aux exigences des règlements européens relatifs au suivi des GES notamment n°525/2013 (MMR) et le règlement UE n°2018/1999 (Gouvernance). En particulier, la transparence des inventaires français et la richesse de son système d'informations, registres, statistiques, valorisation des travaux de recherches, etc., sont des qualités importantes attendues par les instances internationales, notamment dans le cadre et l'esprit de l'Accord de Paris.

Répartition des responsabilités

Les responsabilités sont réparties comme suit :

La **maîtrise d'ouvrage de la réalisation des inventaires et la coordination d'ensemble du système** sont assurées par le **MTEBFMP**.

D'autres ministères et organismes publics contribuent aux inventaires d'émission par la mise à disposition de **données et statistiques** utilisées pour l'élaboration des inventaires.

L'**élaboration des inventaires d'émission** en ce qui concerne les **méthodes** et la préparation de leurs **évolutions,** la **collecte et** le **traitement des données,** l'**archivage,** la **réalisation des rapports et divers supports,** la gestion du **contrôle** et de la **qualité**, est

confiée au **Citepa** par le MTEBFMP. Le Citepa assiste le celui-ci dans la coordination d'ensemble du système national d'inventaire des émissions de polluants dans l'atmosphère. A ce titre, il convient de mentionner tout particulièrement la coordination qui doit être assurée entre les inventaires d'émission et les registres d'émetteurs tels que l'E-PRTR et le registre des quotas d'émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du système d'échange de quotas d'émission (SEQE), sans oublier d'autres aspects (guides publiés par le MTEBFMP, système de déclaration annuelle des rejets de polluants, etc.) pour lesquels il est important de veiller à la cohérence des informations.

Le ministère met à disposition du Citepa toutes les informations dont il dispose dans le cadre de la réglementation existante, comme les déclarations annuelles de rejets de polluants des Installations Classées, ainsi que les résultats des différentes études permettant un enrichissement des connaissances sur les émissions qu'il a initiées tant au sein de ses services que d'autres organismes publics comme l'Ineris. Par ailleurs, l'arrêté SNIEBA du 24 août 2011 établit une liste des statistiques et données émanant d'organismes publics ou ayant une mission de service public, utilisées pour les inventaires d'émission.

Le ministère pilote le **Groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émission** (GCIIE) qui a notamment pour mission de :

- **donner un avis sur les résultats** des estimations produites dans les **inventaires**,
- **donner un avis sur les changements** apportés dans les **méthodologies** d'estimation,
- **donner un avis sur le plan d'action d'amélioration** des inventaires pour les échéances futures,
- **émettre des recommandations** relativement à tout sujet en rapport direct ou indirect avec les inventaires d'émission afin d'assurer la cohérence et le bon déroulement des actions, favoriser leurs synergies, etc.,
- **recommander des actions d'amélioration** des estimations des émissions vers les **programmes de recherche**.
- **Le GCIIE est composé à ce jour de représentants :**
  - du Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche (MTEBFMP), notamment de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), de la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN), de la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) et des services statistiques du MBFMP notamment le SDES,
  - du ministère de l'Agriculture et de la souveraineté alimentaire (MASA), notamment le Service de la statistique et de la prospective (SSP) et la Direction générale de la performance économique (DGPE),
  - du Ministère de l'Economie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, notamment de la Direction générale de l'INSEE et de la Direction générale du Trésor,
  - de l'Agence de la Transition Ecologique (ADEME),
  - de l'Institut National de l'EnviRonnement industriel et des rISques (INERIS),
  - de diverses institutions et agences qui sont également invitées en tant qu'observateurs : c'est le cas des agences agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA), les observatoires régionaux d'émissions de gaz à effet de serre ou encore le Haut-Conseil pour le Climat (HCC).

La **diffusion des inventaires d'émission** est partagée entre plusieurs services du MTEBFMP qui reçoivent les inventaires approuvés transmis par la DGEC :

- La DGEC assure la diffusion des inventaires d'émissions qui doivent être transmis à la Commission européenne en application des directives, notamment l'inventaire des Grandes Installations de Combustion dans le cadre de la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, ainsi que les inventaires au titre de la directive (EU) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques. Elle assure également la diffusion des inventaires relatifs à la Convention de la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies relative à la Pollution Atmosphérique Transfrontière à Longue Distance (CEE-NU – CPATLD).
- La DGEC assure également la diffusion de l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre établi au titre du règlement européen 2018/1999 (gouvernance de l'union de l'énergie et du climat), ainsi que la diffusion de cet inventaire au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).
- A la demande du MTEBFMP, le Citepa assure la diffusion de tous les inventaires qu'il réalise par, notamment, la mise en accès public libre des rapports d'inventaires correspondant à l'adresse Internet https://www.citepa.org/donnees-air-

climat/. Certains de ces rapports sont parfois également présents sur d'autres sites ou diffusés sous différentes formes par d'autres organismes. Le Citepa est également chargé de diffuser des informations techniques relatives aux méthodes d'estimation et est notamment désigné comme correspondant technique des institutions internationales citées ci-dessus. A ce titre, le Citepa est le Point Focal National désigné par le MTEBFMP dans le cadre de l'évaluation de la modélisation intégrée pour ce qui concerne les émissions. Le Citepa assure conjointement avec le MTEBFMP la diffusion de l'inventaire d'émission dit « Secten » qui présente d'une manière générale des séries longues et autres données spécifiques relatives aux sources émettrices en France.

Schéma organisationnel simplifié

Les différentes étapes du processus de réalisation d'un inventaire d'émission sont explicitées et représentées par le schéma ci-après.

A partir de l'expression des différents besoins et des exigences qui s'y attachent, les termes de référence sont établis.

Les méthodologies à appliquer sont choisies et mises au point en tenant compte des connaissances et des données disponibles, notamment les éléments contenus dans certaines lignes directrices définies par les Nations unies ou la Commission européenne.

Les données nécessaires et les sources susceptibles de les produire sont identifiées.

Les données sont collectées, validées, traitées selon les processus établis, y compris en tenant compte des critères liés à la confidentialité.

Les données obtenues sont stockées dans des bases de données pour exploitation ultérieure.

Les principaux éléments utiles à l'approbation des inventaires (résultats d'ensemble, principales analyses, changements majeurs notamment liés à des évolutions méthodologiques) sont produits pour transmission au Groupe de coordination.

Le Groupe de coordination et d'information sur les inventaires d'émission fait part de son avis sur les inventaires et les ajustements nécessaires. Il émet des recommandations et propose un plan d'actions visant à améliorer les inventaires tant en ce qui concerne l'exactitude ou l'exhaustivité des estimations que les aspects de forme, d'analyse, de présentation des résultats ou de tout autre point en rapport avec les inventaires.

Le Ministre en charge de l'environnement prend les décisions finales concernant les inventaires.

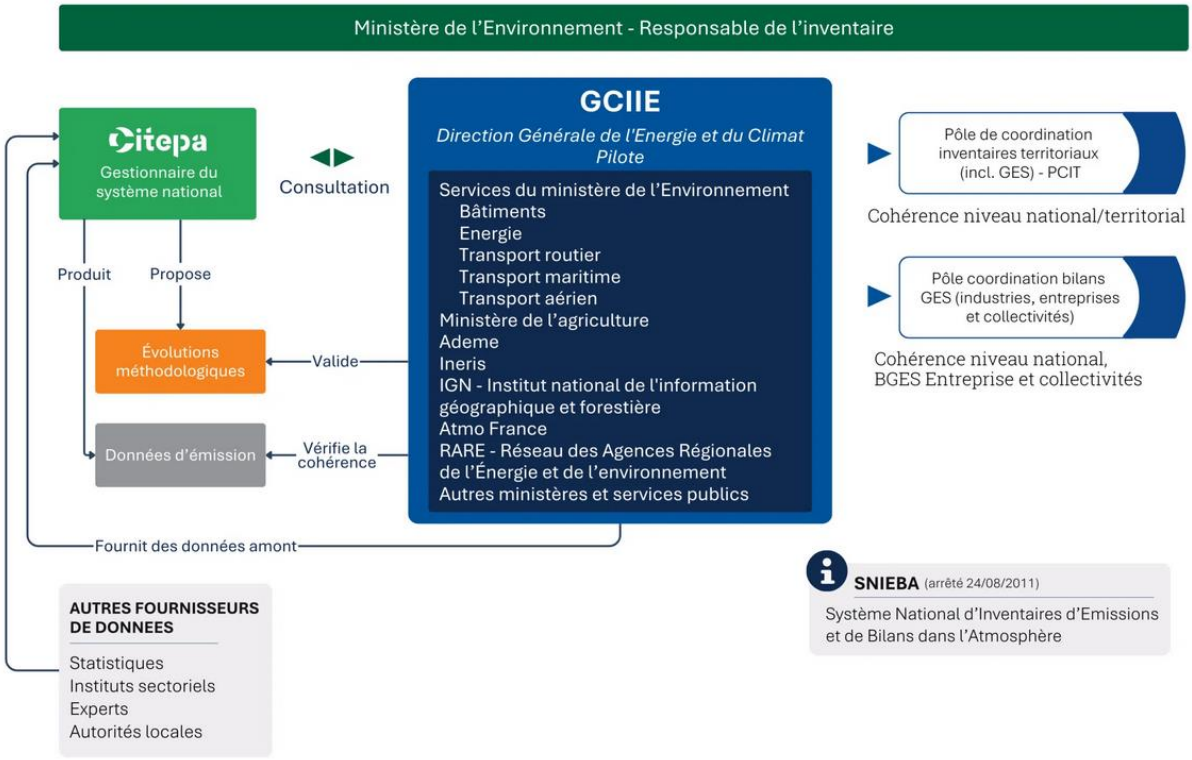
Les ajustements éventuels sont apportés à l'édition de l'inventaire en cours ou dans le cadre de l'application du plan d'amélioration des inventaires qui comporte des actions à plus long terme.

Les éléments finalisés sont remis au MTEBFMP qui, après examen et approbation, les communique aux instances internationales.

Une diffusion étendue des inventaires est réalisée au travers de la mise en ligne sur le site Internet du Citepa des rapports CCNUCC et CEE-NU. D'autres vecteurs de diffusion sont également utilisés par les différents organismes utilisateurs des rapports par l'intermédiaire de publications, communications et envois des rapports à certains organismes.

L'ensemble des éléments utilisés pour construire les inventaires est archivé pour en assurer la traçabilité.

Des vérifications sont effectuées notamment par des instances internationales. Certaines, comme les revues au moyen d'équipes d'experts dépêchées par les Nations unies dans les pays concernés, vont très en profondeur dans le détail des méthodologies et procédures de rapportage des inventaires. A cela s'ajoutent les revues de l'UE dans le cadre de son propre système de contrôle et assurance qualité des inventaires d'émissions UE basés sur la compilation des inventaires des états membres. Par ailleurs, toutes les remarques effectuées par divers utilisateurs des inventaires et les anomalies éventuellement détectées ainsi que le résultat des actions menées au titre de l'assurance qualité au niveau national participent à ces vérifications (cf. section « Programme d'assurance et de contrôle de la qualité »). Tous ces éléments nourrissent le plan d'actions et sont utilisés pour améliorer les éditions suivantes des inventaires.


Ministère de l'Environnement - Responsable de l'inventaire
Citepa
Gestionnaire du système national
Consultation
GCIIE
Direction Générale de l'Energie et du Climat
Pilote
Services du ministère de l'Environnement
Bâtiments
Energie
Transport routier
Transport maritime
Transport aérien
Ministère de l'agriculture
Ademe
Ineris
IGN - Institut national de l'information géographique et forestière
Atmo France
RARE - Réseau des Agences Régionales de l'Énergie et de l'environnement
Autres ministères et services publics
Pôle de coordination inventaires territoriaux (incl. GES) - PCIT
Cohérence niveau national/territorial
Pôle coordination bilans GES (industries, entreprises et collectivités)
Cohérence niveau national, BGES Entreprise et collectivités
Produit
Propose
Évolutions méthodologiques
Valide
Données d'émission
Vérifie la cohérence
Fournit des données amont
AUTRES FOURNISSEURS DE DONNEES
Statistiques
Instituts sectoriels
Experts
Autorités locales
SNIEBA (arrêté 24/08/2011)
Système National d'Inventaires d'Emissions et de Bilans dans l'Atmosphère

CCNUCC et CEENU

Emissions de GES rapportées au titre de la CCNUCC et évolution

Source Citepa / format CCNUCC - mars 2025 — serre/recap_Fr_UE.xlsx

Substance	Unité	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Ecart (%) 2023/90
Gaz à effet de serre direct																
CO_2 (direct et indirect)	Mt	400	393	415	426	387	342	346	349	333	327	291	317	305	280	-30%
Hors UTCATF	Mt éq. C[(c)]	109	107	113	116	106	93	94	95	91	89	79	86	83	76	-30%
CO_2 (direct et indirect)	Mt	375	362	387	368	345	301	308	319	293	290	252	280	269	241	-36%
net[(a)]	Mt éq. C[(c)]	102	99	106	100	94	82	84	87	80	79	69	76	73	66	-36%
CH_4	kt	2 924	2 954	2 906	2 730	2 675	2 420	2 414	2 389	2 346	2 345	2 293	2 241	2 199	2 170	-26%
Hors UTCATF	Mt CO_2e	82	83	81	76	75	68	68	67	66	66	64	63	62	61	-26%
	Mt éq. C[(c)]	22	23	22	21	20	18	18	18	18	18	18	17	17	17	-26%
CH_4	kt	2 947	3 080	2 953	2 761	2 703	2 446	2 440	2 415	2 372	2 370	2 317	2 265	2 226	2 193	-26%
net[(a)]	Mt CO_2e	83	86	83	77	76	68	68	68	66	66	65	63	62	61	-26%
	Mt éq. C[(c)]	23	24	23	21	21	19	19	18	18	18	18	17	17	17	-26%
N_2O	kt	203	204	164	142	120	119	116	120	116	112	108	110	102	102	-50%
Hors UTCATF	Mt CO_2e	54	54	43	38	32	31	31	32	31	30	29	29	27	27	-50%
	Mt éq. C[(c)]	14,7	14,7	11,8	10,2	8,7	8,6	8,4	8,7	8,4	8,1	7,8	7,9	7,4	7,3	-50%
N_2O	kt	211	210	169	147	126	123	120	124	120	116	111	113	105	105	-50%
net[(a)]	Mt CO_2e	56	56	45	39	33	33	32	33	32	31	29	30	28	28	-50%
	Mt éq. C[(c)]	15	15	12	11	9,1	8,9	8,7	8,9	8,6	8,4	8,0	8,1	7,6	7,6	-50%
HFC	t	659	804	3 283	6 298	8 376	8 780	8 698	8 499	7 722	6 742	6 137	5 751	5 465	5 221	693%
	Mt CO_2e	4,2	1,5	6,1	12,6	17,1	17,6	17,3	16,6	14,9	12,9	11,4	10,2	9,2	8,4	99%
	Mt éq. C[(c)]	1,2	0,4	1,7	3,4	4,7	4,8	4,7	4,5	4,1	3,5	3,1	2,8	2,5	2,3	99%
PFC	t	588	357	346	204	68	59	74	77	75	69	60	50	41	28	-95%
	Mt CO_2e	4,7	2,8	2,7	1,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	-95%
	Mt éq. C[(c)]	1,3	0,8	0,7	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-95%
SF_6	t	95	109	96	59	41	27	28	26	25	23	22	23	20	16	-83%
	Mt CO_2e	2,2	2,6	2,2	1,4	1,0	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	-83%
	Mt éq. C[(c)]	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-83%
NF_3	t	1,0	0,4	1,2	1,8	1,9	0,4	0,3	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	-25%
	Mt CO_2e	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-25%
	Mt éq. C[(c)]	0,004	0,002	0,005	0,008	0,008	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	-25%
CO_2e[(b)]	Mt CO_2e	547	537	551	555	513	460	463	465	446	436	396	420	403	376	-31%
Hors UTCATF	Mt éq. C[(c)]	149	146	150	151	140	125	126	127	122	119	108	114	110	103	-31%
CO_2e net[(b)]	Mt CO_2e	524	511	525	500	473	420	427	437	408	401	358	385	369	339	-35%
	Mt éq. C[(c)]	143	139	143	136	129	115	116	119	111	109	98	105	101	92	-35%
	kg CO_2e/hab.	9 000	8 589	8 627	7 910	7 276	6 318	6 395	6 530	6 070	5 952	5 301	5 672	5 429	4 965	-45%
	kg C/hab.[(c)]	2 454	2 343	2 353	2 157	1 984	1 723	1 744	1 781	1 655	1 623	1 446	1 547	1 481	1 354	-45%
	g CO_2e/€ PIB	498	420	355	283	237	191	191	190	173	165	155	154	140	127	-74%
	g C /€ PIB[(c)]	136	115	97	77	65	52	52	52	47	45	42	42	38	35	-74%
Gaz à effet de serre indirect																
SO_2 net[(a)]	kt	1 329	977	653	488	290	170	152	146	140	115	100	107	99	89	-93%
NOx net[(a)]	kt	2 194	2 024	1 884	1 663	1 311	1 069	1 018	985	930	864	751	786	749	685	-69%
hors UTCATF	kt	2 184	2 016	1 876	1 656	1 304	1 061	1 011	977	923	856	744	779	739	679	-69%
COVNM net[(a)]	kt	4 057	3 702	3 322	3 042	2 647	2 586	2 527	2 579	2 655	2 551	2 492	2 288	2 700	2 534	-38%
hors UTCATF	kt	2 904	2 501	2 144	1 769	1 495	1 273	1 262	1 251	1 210	1 176	1 131	1 105	1 116	1 063	-63%
CO net[(a)]	kt	10 648	9 043	6 829	5 808	4 946	3 346	3 401	3 304	3 116	3 041	2 611	2 823	2 677	2 391	-78%
hors UTCATF	kt	10 282	8 752	6 543	5 534	4 678	3 094	3 140	3 027	2 862	2 788	2 368	2 579	2 347	2 157	-79%

(a) incluant utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF)

(b) Emissions CO_2 équivalentes calculées sur la base des PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) à 100 ans, issus du 5ème rapport du GIEC (GIEC 2014 - AR5).

PRG: CO_2 = 1 ; CH_4 = 28 ; N_2O = 265 ; SF_6 = 23500 ; NF_3 = 16100 ; HFC et PFC = valeurs variables dépendantes de la composition des gaz.

(c) kt équivalent Carbone = (12/44) kt équivalent CO_2

(d) France métropolitaine et Outre-mer périmètre UE (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

(*) Les émissions du trafic maritime international et du trafic aérien international sont exclues.

Vue d'ensemble de l'atteinte des objectifs de réduction de polluants

Objectifs en cours ou à venir pour les réductions d'émissions de polluants

source Citepa / format CEE-NU - mars 2025 unece.xlsx /Tot_nat

			Référence		Objectif		Position par rapport aux objectifs			
Substance	Unité	Protocole	Année	Niveau d'émission	Année	Engagement relatif (1)	Année	Evolution émission	Ecart à l'objectif (2) (%)	Atteinte des objectifs
SO_2	Gg	Göteborg-2 & NECD-2	2005	461	2020	-55%	2020	-81%	48%	Oui
			2005	461			2021	-80%		Oui
			2005	461			2022	-82%		Oui
			2005	461			2023	-83%		Oui
		NECD-2	2005	461	2030	-77%			-100%	
NOx	Gg	Göteborg-2 & NECD-2	2005	1 588	2020	-50%	2020	-55%	9%	Oui
			2005	1 588			2021	-53%		Oui
			2005	1 588			2022	-55%		Oui
			2005	1 588			2023	-59%		Oui
		NECD-2	2005	1 588	2030	-69%				
NH_3	Gg	Göteborg-2 & NECD-2	2005	673	2020	-4%	2020	-13%	-100%	Oui
			2005	673			2021	-15%		Oui
			2005	673			2022	-18%		Oui
			2005	673			2023	-19%		Oui
		NECD-2	2005	673	2030	-13%			-100%	
COVNM (2)	Gg	Göteborg-2 & NECD-2	2005	1 323	2020	-43%	2020	-48%	12%	Oui
			2005	1 323			2021	-48%		Oui
			2005	1 323			2022	-49%		Oui
			2005	1 323			2023	-53%		Oui
		NECD-2	2005	1 323	2030	-52%				
$PM_{2,5}$	Gg	Göteborg-2	2005	341	2020	-27%	2020	-92%	239%	Oui
			2005	341			2021	-91%		Oui
			2005	341			2022	-92%		Oui
			2005	341			2023	-53%		Oui
		NECD-2	2005	341	2030	-57%			-100%	
Cd	Mg	protocole d'Aarhus	1990	20		0%	2023	-73%	0%	Oui
Hg	Mg		1990	26		0%	2023	1129%	0%	Oui
Pb	Mg		1990	4 301		0%	2023	-100%	0%	Oui
PCDD/F	g ITEQ		1990	1 801		0%	2023	-79%	0%	Oui
Total HAP	Mg		1990	46		0%	2023	157%	0%	Oui
BaP	Mg		1990	13		0%	2023	-32%	0%	Oui
BbF	Mg		1990	15		0%	2023	-34%	0%	Oui
BkF	Mg		1990	9,4		0%	2023	-33%	0%	Oui
IndPy	Mg		1990	8,2		0%	2023	-30%	0%	Oui
HCB	kg		1990	1 639		0%	2023	-98%	0%	Oui

(1) Les objectifs relatifs correspondent à un objectif de réduction des émissions entre une année de référence et une année d'échéance.

(2) Les chiffres d'émissions et les pourcentages de réduction sont sur le périmètre hors COVNM biogénique agricole.

Objectifs précédents de réduction d'émissions de polluants

Substance	Unité	Protocole	Référence		Objectif		Position par rapport aux objectifs			
			Année	Niveau d'émission	Année	Engagement relatif ou absolu (1)	Année	Niveau d'émission	Ecart à l'objectif (2) (%)	Atteinte des objectifs
SO_2	Gg	Helsinki	1980	3 223	1993	1 289	1993	1 082	-16%	Oui
		Oslo			2000	868	2000	626	-28%	Oui
		Oslo			2005	770	2005	461	-40%	Oui
		Oslo			2010	737	2010	273	-63%	Oui
		Göteborg-1			2010	400	2010	273	-32%	Oui
		NECD-1			2010	375	2010	273	-27%	Oui
NOx	Gg	Sofia	1987	2 042	1994	2 042	1994	1 988	-3%	Oui
		Sofia	1980	2 201	1998	1 541	1998	1 901	23%	Non
		Göteborg-1			2010	860	2010	1 237	44%	Non (*)
		NECD-1			2010	810	2010	1 237	53%	Non (*)
NH_3	Gg	Göteborg-1			2010	780	2010	634	-19%	Oui
		NECD-1			2010	780	2010	634	-19%	Oui
COVNM	Gg	Genève	1988	2 892	1999	2 024	1999	2 198	9%	Non
		Göteborg-1			2010	1100	2010	1 478	34%	Oui (**)
		NECD-1			2010	1050	2010	1 478	41%	Oui (**)

(1) Les objectifs peuvent être relatifs (colorés dans le tableau)

(*) Objectif non atteint pour l'année prévue, mais atteint les années suivantes avec procédures d'ajustement transport et agriculture

(**) Objectif atteint avec procédure d'ajustement pour l'agriculture.

▶ Plus d'informations sur le rapportage officiel des émissions de polluants atmosphériques au titre de la CEE-NU dans le dernier rapport dit « *IIR* » disponible sur le site du Citepa.

Nomenclature

Correspondance entre codes SNAP secteurs d'activité Secten

L'inventaire national est calculé à un niveau très fin, par « SNAP » (*Selected Nomenclature for Air Pollutants* : Nomenclature des activités émettrices utilisées pour réaliser les inventaires d'émissions). Pour les données au format Secten, certains sous-secteurs comportent plusieurs SNAP et certaines SNAP (avec astérisque) sont réparties entre plusieurs sous-secteurs.

Détail des sources incluses dans chaque secteur et sous-secteur	CODE SNAP
(*) l'astérisque indique que cette activité intervient partiellement dans le périmètre du sous-secteur [intitulé du secteur utilisé dans les tableaux du rapport]	
Industrie de l'énergie	
Production d'électricité [Production d'électricité]	
Installations de combustion (sauf 010106)	0101xx
Autres décarbonatations (désulfuration et déNOx - SCR)	040631 (*)
Extincteurs d'incendie	060505 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Chauffage urbain [Chauffage urbain]	
Chauffage urbain	0102xx
Autres décarbonatations (désulfuration)	040631 (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Raffinage du pétrole [Raffinage du pétrole]	
Installations de combustion et fours de raffinage	0103xx
Elaboration de produits pétroliers	040101
Craqueur catalytique - chaudière à CO	040102
Récupération de soufre (unités Claus)	040103 (*)
Stockage et manutention de produits pétroliers en raffinerie	040104
Autres procédés	040105
Production d'acide sulfurique	040401 (*)
Station d'expédition en raffinerie	050501
Soufflage de l'asphalte	060310
Torchères en raffinerie de pétrole	090203
Transformation des combustibles minéraux solides [Transformation des –combustibles minéraux solides]	
Installations de combustion	0104xx
Four à coke	010406
Fours à coke (fuites et extinction)	040201
Fabrication de combustibles solides défumés	040204
Production de sulfate d'ammonium	040404 (*)
Extraction des combustibles fossiles solides et distribution d'énergie [Extraction et distribution de combustibles solides]	
Extraction des combustibles fossiles solides	0501xx
Extraction des combustibles liquides et distribution d'énergie [Extraction et distribution de combustibles liquides]	
Extraction des combustibles fossiles liquides	050201
Distribution de combustibles liquides (sauf essence)	0504xx
Distribution essence, transport et dépôts (excepté stations service)	050502
Stations service (y compris refoulement des réservoirs)	050503
Torchères dans l'extraction de gaz et de pétrole	090206 (*)
Extraction des combustibles gazeux et distribution d'énergie [Extraction et distribution de combustibles gazeux]	
Installations de combustion et stations de compression	0105xx
Extraction des combustibles fossiles gazeux	0503xx
Réseaux de distribution de gaz	0506xx
Torchères dans l'extraction de gaz et de pétrole	090206 (*)
Fabrication de charbon de bois par pyrolyse [Fabrication de charbon de bois par pyrolyse]	
Fabrication de charbon de bois par pyrolyse	010407

Valorisation énergétique des déchets [Valorisation énergétique des déchets]	
Production d'électricité - Autres équipements (incinération de déchets domestiques avec récupération d'énergie)	010106
Autres mises en décharge de déchets solides	090403 (*)
Industrie manufacturière, construction	
Chimie organique, non-organique et divers [Chimie]	
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Autres fours sans contact	030205
Récupération de soufre (unités Claus)	040103 (*)
Production d'acide sulfurique	040401 (*)
Production d'acide nitrique	040402
Production d'ammoniac	040403
Production de sulfate d'ammonium	040404 (*)
Production de nitrate d'ammonium	040405
Production de phosphate d'ammonium	040406
Production d'engrais NPK	040407
Production d'urée	040408
Production de noir de carbone	040409
Production de dioxyde de titane	040410
Production de graphite	040411
Production de carbure de calcium	040412
Production de chlore	040413
Production d'engrais phosphatés	040414
Autres productions de l'industrie chimique inorganique	040416
Procédés de l'industrie chimique organique	0405xx
Production et utilisation de carbonate de sodium	040619 (*)
Production de produits explosifs	040622
Autres décarbonatations (neutralisation des effluents acides à partir de castine)	040631 (*)
Production d'halocarbures et d'hexafluorure sulfurique	0408xx
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Fabrication de produits pharmaceutiques	060306 (*)
Fabrication de peinture	060307
Fabrication d'encre	060308
Fabrication de colles	060309
Autres fabrications et mises en œuvre de produits chimiques	060314
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Extincteurs d'incendie	060505 (*)
Bombes aérosols	060506 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Autres utilisations du HFC, PFC et SF_6	060508 (*)
Utilisation non énergétique de produits combustibles et solvants	060604 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Incinération des déchets industriels (sauf torchères)	090202 (*)
Torchères dans l'industrie chimique	090204
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Construction [Construction]	
Produits de recouvrement des routes (stations d'enrobage)	030313
Matériaux asphaltés pour toiture	040610
Recouvrement des routes par l'asphalte	040611
Chantiers et BTP	040624
Application de peinture - Bâtiment et construction (sauf 060107)	060103
Application de peinture - Bois	060107 (*)
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Application de colles et adhésifs	060405 (*)
Protection du bois	060406 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Bien d'équipements, construction mécanique, électrique, électronique et matériels de transports [Biens d'équipements, matériels de transport]	

Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Galvanisation	040307 (*)
Traitement électrolytique	040308 (*)
Autres procédés de l'industrie des métaux non-ferreux	040309 (*)
Fabrication d'accumulateurs	040615
Application de peinture - Construction de véhicules automobiles	060101
Application de peinture - Construction de bateaux	060106
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Dégraissage des métaux	060201 (*)
Fabrication de composants électroniques	060203
Mise en œuvre du polychlorure de vinyle	060302 (*)
Mise en œuvre du polyuréthane	060303 (*)
Application de colles et adhésifs	060405 (*)
Traitement de protection du dessous des véhicules	060407
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Mise en œuvre de mousse (excepté 060304)	060504 (*)
Extincteurs d'incendie	060505 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Autres utilisations du HFC, PFC et SF_6	060508 (*)
Utilisation non énergétique de produits combustibles et solvants	060604 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Agro-alimentaire [Agro-alimentaire]	
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Autres procédés énergétiques avec contact (déshydratation de fourrage vert)	030326
Fabrication de pain	040605
Production de vin	040606
Production de bière	040607
Production d'alcools	040608
Manutention de céréales	040621
Production de sucre	040625
Production de farine	040626
Fumage des viandes	040627
Extraction d'huiles comestibles et non comestibles	060404
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Extincteurs d'incendie	060505 (*)
Bombes aérosols	060506 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Autres utilisations du HFC, PFC et SF_6	060508 (*)
Utilisation non énergétique de produits combustibles et solvants	060604 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Métallurgie des métaux ferreux [Métallurgie des métaux ferreux]	
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Régénérateurs de haut fourneau	030203
Chaînes d'agglomération de minerai	030301
Fours de réchauffage pour l'acier et métaux ferreux	030302
Fonderies de fonte grise	030303
Procédés de la sidérurgie et des houillères	040200
Chargement des hauts fourneaux	040202
Coulée de la fonte brute	040203
Fours creuset pour l'acier	040205
Fours à l'oxygène pour l'acier	040206
Fours électriques pour l'acier	040207
Laminoirs	040208
Chaînes d'agglomération de minerai (excepté 030301) (matières premières carbonées)	040209

Autres procédés de la sidérurgie	040210
Production de ferro alliages	040302
Production et utilisation de carbonate de sodium	040619 (*)
Autres décarbonatations (neutralisation des effluents acides à partir de castine)	040631 (*)
Prélaquage	060105 (*)
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Dégraissage des métaux	060201 (*)
Application de colles et adhésifs	060405 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Autres utilisations du HFC, PFC et SF_6	060508 (*)
Utilisation non énergétique de produits combustibles et solvants	060604 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Métallurgie des métaux non-ferreux [Métallurgie des métaux non-ferreux]	
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Production de plomb de première fusion	030304
Production de zinc de première fusion	030305
Production de cuivre de première fusion	030306
Production de plomb de seconde fusion	030307
Production de zinc de seconde fusion	030308
Production de cuivre de seconde fusion	030309
Production d'aluminium de seconde fusion	030310
Production d'alumine	030322
Production de magnésium (traitement à la dolomie)	030323
Production de nickel (procédé thermique)	030324
Production d'aluminium (électrolyse)	040301
Production de silicium	040303
Production de magnésium (excepté 030323)	040304
Production de nickel (excepté 030324)	040305
Fabrication de métaux alliés	040306
Autres procédés de l'industrie des métaux non-ferreux	040309 (*)
Production d'acide sulfurique	040401 (*)
Production et utilisation de carbonate de sodium	040619 (*)
Autres décarbonatations (dolomie en magnésium)	040631 (*)
Prélaquage	060105 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Minéraux non-métalliques et matériaux de construction [Minéraux non-métalliques, matériaux de construction]	
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Fours à plâtre	030204
Production de ciment	030311
Production de chaux	030312
Production de verre plat	030314
Production de verre creux	030315
Production de fibre de verre (hors liant)	030316
Autres productions de verres	030317
Production de fibres minérales (hors liant)	030318
Production de tuiles et briques	030319
Production de céramiques fines	030320
Production d'émail	030325
Production d'acide sulfurique	040401 (*)
Fabrication de panneaux agglomérés	040601
Ciment (décarbonatation)	040612
Verre (décarbonatation)	040613
Chaux (décarbonatation)	040614

Autres (y compris produits contenant de l'amiante)	040617
Exploitation de carrières	040623
Tuiles et briques (décarbonatation)	040628
Céramiques fines (décarbonatation)	040629
Autres décarbonatations (émail)	040631 (*)
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Enduction de fibres de verre	060401
Enduction de fibres minérales	060402
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Papier, carton [Papier, carton]	
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Papeterie (séchage)	030321
Fabrication de pâte à papier (procédé kraft)	040602
Fabrication de pâte à papier (procédé au bisulfite)	040603
Fabrication de pâte à papier (procédé mi-chimique)	040604
Papeterie (décarbonatation)	040630
Autres décarbonatations (neutralisation des effluents acides à partir de castine)	040631 (*)
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Application de colles et adhésifs	060405 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Autres secteurs de l'industrie et non spécifié [Autres industries manufacturières]	
Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes	0301xx (*)
Galvanisation	040307 (*)
Traitement électrolytique	040308 (*)
Production et utilisation de carbonate de sodium	040619 (*)
Travail du bois	040620
Application de peinture - Bois	060107 (*)
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Dégraissage des métaux	060201 (*)
Autres nettoyages industriels	060204
Mise en œuvre du polyester	060301
Mise en œuvre du polychlorure de vinyle	060302 (*)
Mise en œuvre du polyuréthane	060303 (*)
Mise en œuvre de mousse de polystyrène	060304
Mise en œuvre du caoutchouc	060305
Fabrication de supports adhésifs, films et photos	060311
Apprêtages des textiles	060312
Tannage du cuir	060313
Imprimerie	060403
Application de colles et adhésifs	060405 (*)
Protection du bois	060406 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Mise en œuvre de mousse (excepté 060304)	060504 (*)
Extincteurs d'incendie	060505 (*)
Bombes aérosols	060506 (*)
Equipements électriques	060507 (*)
Autres utilisations du HFC, PFC et SF_6	060508 (*)
Utilisation non énergétique de produits combustibles et solvants	060604 (*)
Engins spéciaux - Industrie	0808xx (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Traitement centralisé des déchets	

Stockage des déchets [Stockage des déchets]	
Décharges compactées de déchets solides	090401
Décharges non-compactées de déchets solides	090402
Autres mises en décharge de déchets solides	090403 (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Incinération sans récupération d'énergie [Incinération sans récupération d'énergie]	
Incinération des déchets domestiques et municipaux (hors récupération d'énergie)	090201
Incinération des déchets industriels (sauf torchères)	090202 (*)
Incinération des boues résiduelles du traitement des eaux	090205
Incinération des déchets hospitaliers	090207
Incinération des huiles usagées	090208
Feux ouverts de déchets agricoles (hors 1003xx)	090701 (*)
Incinération de carcasses animales	090902
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Autres traitements des déchets solides [Autres traitements des déchets solides]	
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Production de compost à partir de déchets	091005 (*)
Production de biogaz	091006
Autres traitements des déchets	091008
Traitement des eaux usées [Traitement des eaux usées]	
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Traitement des eaux usées dans le secteur résidentiel/commercial	091002 (*)
Latrines	091007
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	
Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique [Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson domestique]	
Résidentiel (combustion)	0202xx
Climatisation domestique [Climatisation domestique]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Réfrigération domestique [Réfrigération domestique]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Utilisation de produits domestiques (y.c. peintures, aérosols) [Utilisation de produits domestiques (y.c. peintures, aérosols)]	
Utilisation domestique de peinture (sauf 060107)	060104
Application de peinture - Bois	060107 (*)
Autres applications de peinture (hors industrie)	060109
Fabrication de produits pharmaceutiques	060306 (*)
Application de colles et adhésifs	060405 (*)
Utilisation domestique de solvants (autre que la peinture)	060408
Utilisation domestique de produits pharmaceutiques	060411(*)
Mise en œuvre de mousse (excepté 060304)	060504 (*)
Bombes aérosols	060506 (*)
Autres utilisations de HFC, PFC, SF_6	060508 (*)
Utilisation non énergétique de produits combustibles et solvants	060604 (*)
Engins (y.c. jardinage) domestiques [Engins (y.c. jardinage) domestiques]	
Engins spéciaux - Loisir, jardinage	0809xx
Déchets et brûlage domestiques et eaux usées [Déchets et brûlage domestiques et eaux usées]	
Incinération des déchets industriels (sauf torchères) - brûlage de câbles	090202 (*)
Feux ouverts de déchets verts	090702
Feux ouverts - Autres (feux de véhicules, etc.)	090703
Traitement des eaux usées dans le secteur résidentiel/commercial	091002 (*)
Production de compost à partir de déchets	091005 (*)
Autres activités domestiques (tabac et feux d'artifices) [Autres activités domestiques (tabac et feux d'artifices)]	
Utilisation des feux d'artifice	060601 (*)
Consommation de tabac	060602
Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson tertiaire [Chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson tertiaire]	
Commercial et institutionnel (combustion)	0201xx (sauf 020106)
Climatisation tertiaire [Climatisation tertiaire]	

Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Réfrigération tertiaire [Réfrigération tertiaire]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halocarbures ou du SF_6	060503 (*)
Utilisation de produits tertiaires (y.c. peintures, aérosols) [Utilisation de produits tertiaires (y.c. peintures, aérosols)]	
Réparations de véhicules	060102
Application de peinture - Bois	060107 (*)
Autres applications industrielles de peinture	060108 (*)
Nettoyage à sec	060202
Fabrication de produits pharmaceutiques	060306 (*)
Application de colles et adhésifs	060405 (*)
Préparation des carrosseries de véhicules	060409
Anesthésie	060501
Utilisation domestique de produits pharmaceutiques	060411(*)
Mise en œuvre de mousse (excepté 060304)	060504 (*)
Extincteurs d'incendie	060505 (*)
Bombes aérosols	060506 (*)
Autres utilisations du HFC, PFC et SF_6	060508 (*)
Autres activités tertiaires (y.c. feux d'artifices, activités militaires, crémation) [Autres activités tertiaires (y.c. feux d'artifices, activités militaires, crémation)]	
Combustion militaire	020106
Equipements électriques	060507 (*)
Utilisation des feux d'artifice	060601 (*)
Autres machines - échappement moteur (aviation militaire)	081001 (*)
Crémation	090901
Agriculture, sylviculture et aquaculture hors UTCATF	
Bovins [Bovins]	
Fermentation entérique – Vaches laitières	100401
Fermentation entérique – Autres bovins	100402
Déjections animales- Vaches laitières (Bâtiments / Stockage)	100501 (*)
Déjections animales – Autres bovins (Bâtiments / Stockage)	100502 (*)
Porcins [Porcins]	
Fermentation entérique – Porcins à l'engraissement	100404
Fermentation entérique – Truies	100412
Déjections animales- Porcins à l'engraissement (Bâtiments / Stockage)	100503 (*)
Déjections animales – Truies (Bâtiments / Stockage)	100504 (*)
Volailles [Volailles]	
Fermentation entérique – Poules	100408
Fermentation entérique – Poulets	100409
Fermentation entérique – Autres volailles (canards, oies, ...)	100410
Déjections animales- Poules (Bâtiments / Stockage)	100507 (*)
Déjections animales – Poulets (Bâtiments / Stockage)	100508 (*)
Déjections animales – Autres volailles (Bâtiments / Stockage)	100509 (*)
Autres émissions de l'élevage [Autres émissions de l'élevage]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Traitement des eaux usées dans l'industrie	091001 (*)
Fermentation entérique – Ovins	100403
Fermentation entérique – Chevaux	100405
Fermentation entérique – Mules et ânes	100406
Fermentation entérique – Caprins	100407
Fermentation entérique – Chameaux	100413
Fermentation entérique – Buffles	100414
Fermentation entérique – Autres	100415
Déjections animales – Moutons (Bâtiments / Stockage)	100505 (*)
Déjections animales – Chevaux (Bâtiments / Stockage)	100506 (*)
Déjections animales – Animaux à fourrure (Bâtiments / Stockage)	100510 (*)
Déjections animales – Caprins (Bâtiments / Stockage)	100511 (*)
Déjections animales – Ânes et mulets (Bâtiments / Stockage)	100512 (*)

Déjections animales – Chameaux (Bâtiments / Stockage)	100513 (*)
Déjections animales – Buffles (Bâtiments / Stockage)	100514 (*)
Déjections animales – Autres (Bâtiments / Stockage)	100515 (*)
Composés azotés issus des déjections animales	1009xx
Engrais et amendements minéraux [Engrais et amendements minéraux]	
Culture avec engrais- Cultures permanentes	100101 (*)
Culture avec engrais - Terres arables	100102 (*)
Culture avec engrais - Rizières	100103 (*)
Culture avec engrais - Vergers	100104 (*)
Culture avec engrais - Prairies	100105 (*)
Utilisation de pesticides et de calcaire – Agriculture	100601
Engrais et amendements organiques [Engrais et amendements organiques]	
Epandage des boues	091003
Culture avec engrais- Cultures permanentes	100101 (*)
Culture avec engrais - Terres arables	100102 (*)
Culture avec engrais - Rizières	100103 (*)
Culture avec engrais - Vergers	100104 (*)
Culture avec engrais - Prairies	100105 (*)
Pâtures [Pâtures]	
Culture avec engrais- Cultures permanentes	100101 (*)
Culture avec engrais - Terres arables	100102 (*)
Culture avec engrais - Rizières	100103 (*)
Culture avec engrais - Vergers	100104 (*)
Culture avec engrais - Prairies	100105 (*)
Brûlage de résidus agricoles [Brûlage de résidus agricoles]	
Feux ouverts de déchets agricoles (hors 1003xx)	090701 (*)
Brûlage de résidus agricoles - Céréales	100301
Brûlage de résidus agricoles - Légumes	100302
Brûlage de résidus agricoles - Racines et tubercules	100303
Brûlage de résidus agricoles -Cannes à sucre	100304
Brûlage de résidus agricoles - Autres	100305
Autres émissions des cultures [Autres émissions des cultures]	
Culture avec engrais- Cultures permanentes	100101 (*)
Culture avec engrais - Terres arables	100102 (*)
Culture avec engrais - Rizières	100103 (*)
Culture avec engrais - Vergers	100104 (*)
Culture avec engrais - Prairies	100105 (*)
Culture avec engrais - Jachères	100206
Engins, moteurs et chaudières de l'agriculture [Engins, moteurs et chaudières de l'agriculture]	
Installations de combustion - Agriculture, sylviculture	0203xx
Engins spéciaux - Agriculture	0806xx
Engins, moteurs et chaudières en sylviculture [Engins, moteurs et chaudières en sylviculture]	
Engins spéciaux - Sylviculture	0807xx
Transports	
Voitures particulières à moteur diesel [VP diesel]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Voitures particulières	0701xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Voitures particulières à moteur essence [VP essence]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Voitures particulières	0701xx (*)
Evaporation d'essence des véhicules	070600 (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Voitures particulières à moteur essence et GPL [VP GPL]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Voitures particulières	0701xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)

Usure des routes	070800 (*)
Voitures particulières à moteur GNV [VP GNV]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Voitures particulières	0701xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Voitures particulières à moteur électrique [VP électriques]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Véhicules utilitaires légers à moteur diesel [VUL diesel]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Véhicules utilitaires légers < 3,5 t	0702xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Véhicules utilitaires légers à moteur essence [VUL essence]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Véhicules utilitaires légers < 3,5 t	0702xx (*)
Evaporation d'essence des véhicules	070600 (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Véhicules utilitaires légers à moteur essence et GPL [VP GPL]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Voitures particulières	0702xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Véhicules utilitaires légers à moteur GNV [VP GNV]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Voitures particulières	0702xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Véhicules utilitaires légers à moteur électrique [VUL électriques]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Poids lourds de marchandises à moteur diesel [PL de marchandises diesel]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Poids lourds > 3,5 t et bus	0703xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Poids lourds de marchandises à moteur essence [PL de marchandises essence]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Poids lourds > 3,5 t et bus	0703xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Poids lourds de marchandises à moteur GNV [PL de marchandises GNV]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Poids lourds > 3,5 t et bus	0703xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Poids lourds de marchandises à moteur électrique [PL de marchandises électrique]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Bus et cars à moteur diesel [Bus et cars diesel]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Poids lourds > 3,5 t et bus	0703xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)

Bus et cars à moteur essence [Bus et cars essence]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Poids lourds > 3,5 t et bus	0703xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Bus et cars à moteur GNV [Bus et cars GNV]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Poids lourds > 3,5 t et bus	0703xx (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Bus et cars à moteur électrique [Bus et cars électriques]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Deux roues à moteur essence [Deux roues essence]	
Motocyclettes et motos < 50 cm^3	070400
Motos > 50 cm^3	0705xx
Evaporation d'essence des véhicules	070600 (*)
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Deux roues à moteur diesel [Deux roues diesel]	
Motocyclettes et motos < 50 cm^3	070400
Motos > 50 cm^3	0705xx
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Deux roues à moteur électrique [Deux roues électriques]	
Abrasion des pneus et plaquettes de freins	070700 (*)
Usure des routes	070800 (*)
Transport ferroviaire [Transport ferroviaire]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Trafic ferroviaire	0802xx
Transport fluvial de marchandises[Transport fluvial de marchandises]	
Navigation intérieure de transport de marchandises	080304 (*)
Transport maritime français [Transport maritime domestique]	
Equipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halocarbures ou du SF_6	060502 (*)
Trafic maritime national dans la zone EMEP	080402
Pêche nationale	080403
Transport autres navigations [Transport autres navigations]	
Bateaux à moteurs/usage professionnel	080302
Transport aérien français [Transport aérien français]	
Bombes aérosols	060506 (*)
Trafic domestique (cycle d'atterrissage/décollage - < 1000 m)	080501
Trafic international (cycle d'atterrissage/décollage - < 1000 m) (substances hors gaz à effet de serre)	080502 (*)
Trafic domestique de croisière (> 1000 m) (gaz à effet de serre uniquement)	080503 (*)
Trafic domestique (cycle d'atterrissage/décollage - < 1000 m) - Abrasion des pneus et des freins	080505
Trafic international (cycle d'atterrissage/décollage - < 1000 m) - Abrasion des pneus et des freins	080506
Transports – non inclus dans le total France *[Transports – hors total]*	
Trafic fluvial hors contribution nationale [Transport fluvial international] (gaz à effet de serre uniquement)	
Navigation intérieure de transport de marchandises	080304 (*)
Trafic maritime international (soutes internationales) [Transport maritime international]	
Trafic maritime international (soutes internationales)	080404
Transport aérien hors contribution nationale [Transport aérien international]	
Bombes aérosols	060506 (*)
Trafic international (cycle d'atterrissage/décollage - < 1000 m) (gaz à effet de serre uniquement)	080502 (*)
Trafic domestique de croisière (> 1000 m) (substances hors gaz à effet de serre)	080503 (*)
Trafic international de croisière (> 1000 m)	080504
Autres engins hors contribution nationale [Autres engins hors contribution nationale]	
Autres machines - échappement moteur (fusée)	081001 (*)
Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie (Gaz à effet de serre uniquement) [UTCATF]	

Forêts [Forêts]	
Feux de forêt (CH_4 et N_2O)	1103xx (*)
Forêt restant forêt - tropical	113101 (*)
Terre cultivée devenant forêt - tropical	113102 (*)
Prairie devenant forêt - tropical	113103 (*)
Terre humide devenant forêt - tropical	113104 (*)
Zone urbanisée devenant forêt - tropical	113105 (*)
Autre terre devenant forêt - tropical	113106 (*)
Forêt restant forêt - tempéré	113111 (*)
Terre cultivée devenant forêt - tempéré	113112 (*)
Prairie devenant forêt - tempéré	113113 (*)
Terre humide devenant forêt - tempéré	113114 (*)
Zone urbanisée devenant forêt - tempéré	113115 (*)
Autre terre devenant forêt - tempéré	113116 (*)
Terres cultivées [Terres cultivées]	
Terre cultivée restant Terre cultivée - tropical	113201 (*)
Forêt devenant Terre cultivée - tropical	113202 (*)
Prairie devenant Terre cultivée - tropical	113203 (*)
Terre humide devenant Terre cultivée - tropical	113204 (*)
Zone urbanisée devenant Terre cultivée - tropical	113205 (*)
Autre terre devenant Terre cultivée - tropical	113206 (*)
Terre cultivée restant Terre cultivée - tempéré	113211 (*)
Forêt devenant Terre cultivée - tempéré	113212 (*)
Prairie devenant Terre cultivée - tempéré	113213 (*)
Terre humide devenant Terre cultivée - tempéré	113214 (*)
Zone urbanisée devenant Terre cultivée - tempéré	113215 (*)
Autre terre devenant Terre cultivée - tempéré	113216 (*)
Prairies [Prairies]	
Prairie restant Prairie - tropical	113301 (*)
Forêt devenant Prairie - tropical	113302 (*)
Terre cultivée devenant Prairie - tropical	113303 (*)
Terre humide devenant Prairie - tropical	113304 (*)
Zone urbanisée devenant Prairie - tropical	113305 (*)
Autre terre devenant Prairie - tropical	113306 (*)
Prairie restant prairie - tempéré	113311 (*)
Forêt devenant prairie - tempéré	113312 (*)
Terre cultivée devenant prairie - tempéré	113313 (*)
Terre humide devenant prairie - tempéré	113314 (*)
Zone urbanisée devenant prairie - tempéré	113315 (*)
Autre terre devenant prairie - tempéré	113316 (*)
Zones artificielles [Zones artificielles]	
Zone urbanisée restant Zone urbanisée - tropical	113501 (*)
Forêt devenant Zone urbanisée - tropical	113502 (*)
Terre cultivée devenant Zone urbanisée - tropical	113503 (*)
Prairie devenant Zone urbanisée - tropical	113504 (*)
Terre humide devenant Zone urbanisée - tropical	113505 (*)
Autre terre devenant Zone urbanisée - tropical	113506 (*)
Zone urbanisée restant Zone urbanisée - tempéré	113511 (*)
Forêt devenant Zone urbanisée - tempéré	113512 (*)
Terre cultivée devenant Zone urbanisée - tempéré	113513 (*)
Prairie devenant Zone urbanisée - tempéré	113514 (*)
Terre humide devenant Zone urbanisée - tempéré	113515 (*)
Autre terre devenant Zone urbanisée - tempéré	113516 (*)
Zones humides [Zones humides]	
Terre humide restant Terre humide - tropical	113401 (*)
Forêt devenant Terre humide - tropical	113402 (*)
Terre cultivée devenant Terre humide - tropical	113403 (*)
Prairie devenant Terre humide - tropical	113404 (*)
Zone urbanisée devenant Terre humide - tropical	113405 (*)
Autre terre devenant Terre humide - tropical	113406 (*)

Terre humide restant Terre humide - tempéré	113411 (*)
Forêt devenant Terre humide - tempéré	113412 (*)
Terre cultivée devenant Terre humide - tempéré	113413 (*)
Prairie devenant Terre humide - tempéré	113414 (*)
Zone urbanisée devenant Terre humide - tempéré	113415 (*)
Autre terre devenant Terre humide - tempéré	113416 (*)
Autres terres [Autres terres]	
Autre terre restant Autre terre - tropical	113601 (*)
Forêt devenant Autre terre - tropical	113602 (*)
Terre cultivée devenant Autre terre - tropical	113603 (*)
Prairie devenant Autre terre - tropical	113604 (*)
Terre humide devenant Autre terre - tropical	113605 (*)
Zone urbanisée devenant Autre terre - tropical	113606 (*)
Autre terre restant Autre terre - tempéré	113611 (*)
Forêt devenant Autre terre - tempéré	113612(*)
Terre cultivée devenant Autre terre - tempéré	113613 (*)
Prairie devenant Autre terre - tempéré	113614 (*)
Terre humide devenant Autre terre - tempéré	113615 (*)
Zone urbanisée devenant Autre terre - tempéré	113616 (*)
Produits bois [Produits bois]	
Autres / Produits Bois	112500
Barrages [Barrages]	
Forêt devenant Terre humide - tropical	113402 (*)
Emissions naturelles – non incluses dans le total France [Emissions naturelles – hors total]	
Végétation (dont polluants des feux de forêt) [Végétation (dont polluants des feux de forêt)]	
Forêts naturelles de feuillus	1101xx
Forêts naturelles de conifères	1102xx
Feux de forêt (substances hors gaz à effet de serre)	1103xx (*)
Prairies naturelles et autres végétations	1104xx
Forêts de feuillus exploitées	111100
Forêts de conifères exploitées	111200
UTCATF 113xxx (substances hors gaz à effet de serre)	113xxx (*)
Eaux [Eaux]	
Zones humides	1105xx
Eaux	1106xx
Autres émissions naturelles [Autres émissions naturelles]	
Animaux	1107xx
Volcans	110800
Foudre	111000

Liste des combustibles

Gaz naturel, gaz naturel véhicule
Gaz de cokerie
Gaz de pétrole liquéfie
Gaz de pétrole liquéfie carburant
Gaz de haut-fourneau
Gaz de raffinerie et de pétrochimie
Déchets industriels gazeux
Biogaz, gaz de décharge
Autres combustibles gazeux (hydrogène, ...)
Fioul lourd
Fioul domestique
Gazole, gazole non routier
Essence et supercarburant
Agro-carburant essence
Kérosène, carburéacteur et essence aviation
Huiles et solvants uses
Autres produits pétroliers
Liqueur noire
Autres combustibles liquides
Charbon, agglomérés et coke
Lignite
Coke de pétrole
Ordures ménagères
Déchets industriels solides
Autres combustibles minéraux solides
Bois et déchets de bois
Autres produits de la biomasse (agricoles, ...)
Autres combustibles solides

Références

Synthèse et messages clés

Bilan électrique français 2024 – RTE. Lien.

Consommation énergétique par usage dans le résidentiel. Sdes 2025. Lien.

Conjoncture mensuelle de l'énergie : Prix ménage pétrole, gaz, bois et électricité. Sdes. Lien.

Chapitre Gaz à effet de serre

Section GES - contexte scientifique

GIEC. (2019). Résumé à l'intention des décideurs, Résumé technique et Foire aux questions, dans Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Glossaire, p. 88.

Meadows, D. M. (2022). Limits to growth (50 years after), Chapter 2. The engine: exponential growth.

Section CO_2

Concentration mondiale de CO_2 - Global Monitoring Laboratory. Trends CO_2 (2025). Lien

Emissions de CO2 dans le monde depuis 1900 - Global Carbon Project. Lien.

AIE (2025), Global Energy Review 2025, AIE, Paris, Licence : CC BY 4.0 . Lien.

Section CH_4

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2020). Stratégie nationale bas carbone révisée. Lien.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC (2018). Réchauffement planétaire de 1,5°C – Résumé à l'intention des décideurs. Lien.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC (2023). Résumé pour décideurs du Rapport de synthèse du 6e rapport d'évaluation du GIEC. Lien

Agence Internationale de l'Energie (2024). Global Methane Tracker 2025. Lien.

Règlement (UE) 2024/1787 du Parlement européen et du Conseil du 13 juin 2024 concernant la réduction des émissions de méthane dans le secteur de l'énergie et modifiant le règlement (UE) 2019/942 - Lien

HMIEL B. et al (2020). Article publié le 19 février 2020 dans la revue scientifique Nature : "Preindustrial CH4 indicates greater anthropogenic fossil CH4 emissions". Lien.

Cain et al., 2019, Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants, NPJ Clim Atmos Sci 2, 1–7. https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4

Christian De Perthuis, Christian Couturier, Sophie Szopa. À la recherche des bonnes équivalences climatiques entre CO_2 et méthane. La Météorologie, 2024, 126, pp.053. 10.37053/lameteorologie-2024-0059 . hal-04680347

Centre commun de recherche (Joint Research Centre, JRC) (2020). Arctic permafrost thawing – impacts on high-latitude emissions of carbon dioxide and methane. Lien.

Centre commun de recherche (Joint Research Centre, JRC) (2018). Global trends of methane emissions and their impacts on ozone concentrations. Lien.

Programme des Nations Unies pour l'Environnement (United Nations Environment Programme and Climat), Coalition pour le Climat et l'Air Propre (Clean Air Coalition), 2021. Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions – Interactive tool. Lien.

Idele, Dossier économie n° 536 - Janvier 2023 ; Filière viande. Lien.

Idele, Dossier économie n° 537 - Février 2023 ; Filière lait. Lien.

Commission européenne, 2020. Stratégie sur le méthane. Lien.

CCNUCC. Interface de visualisation des émissions de GES. Lien.

WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin) - No.19: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2022. Lien.

Section N_2O

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC (2018). Réchauffement planétaire de 1,5°C – Résumé à l'intention des décideurs. Lien.

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (2013). Drawing Down N2O to protect climate and the ozone layer. Lien.

Nitrogen song, Ricky Kej - INMS. Lien.

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2020). Stratégie nationale bas carbone révisée. Lien.

Commission européenne. European Green Deal – Farm to Fork Strategy. Lien.

INI, 2021. Berlin Declaration on Sustainable Nitrogen Management for the Sustainable Development Goals. Lien.

CCNUCC. Interface de visualisation des émissions de GES. Lien. https://di.unfccc.int/time_series.

WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin) - No.17: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2020. Lien.

CCNUCC. Interface de visualisation des émissions de GES. Lien.

WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin) - No.19: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2022. Lien.

Section Gaz fluorés

The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing. Guus J. M. Veldersa, David W. Faheyb, John S. Danielb, Mack McFarlandc, and Stephen O. Andersend. https://www.pnas.org/content/106/27/10949

Colloque AFCE, 21 septembre 2023, Stéphanie Barrault, Ariane Druart, Citepa : Inventaire des fluides frigorigènes, communication.

Colloque AFCE, 29 septembre 2022, Stéphanie Barrault, Citepa, Laurent Guegan, ADC3R : Efficacité de la récupération, recyclage & économie circulaire.

Citepa 2020 – rapport CCNUCC – Rapport national d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et du Protocole de Kyoto. Mars 2020

Crippa, M. et al. (2019). Fossil CO2 emissions of all world countries. 2019 Report, JRC, 251 p.

GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

IPCC-AR5-ch8-2014 - Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Chapitre Polluants atmosphériques

Section AEPP

AEE 2018 – Agence de l'environnement européenne - Air quality in Europe – 2018 report. N°12. ISBN 978-92-9213-989-6

AEE 2022 - Agence de l'environnement européenne – Risk of eutrophication measured as exceedance of critical loads of nitrogen deposition in Europe, in 2022. https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/eutrophication-caused-by-atmospheric-nitrogen-deposition-in-europe-indicator-1

AEE 2022 - Agence de l'environnement européenne - Percentage loss of wheat yields due to O_3 exposure in 35 European countries in 2019. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/loss-in-wheat-production-aggregated

AEE-UNECE 2022 - European Union emission inventory report 1990-2020 Under the UNECE Air Convention – EEA Report n°03/2022.

Agence américaine de protection de l'environnement. Nitrogen Oxides (NOx): Why and How They Are Controlled. Novembre 1999. Disponible sur : https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fnoxdoc.pdf

Amann 2018 – Amann M. - Ozone strategies in the context of other policy objectives - Workshop on 'Air quality policy implementation related to ozone' Madrid, November 21-22, 2018.

Augustin Colette, Camilla Andersson, Alexander Baklanov, Bertrand Bessagnet, Jorgen Brandt, et al., 2015, Is the ozone climate penalty robust in Europe ?. Environmental Research Letters, 10,084015. DOI : 10.1088/17489326/10/8/084015.

B. Zheng, D. Tong, M. Li, F. Liu, C. Hong, G. Geng, H. Li, X. Li, L. Peng, J. Qi, L. Yan, Y. Zhang, H. Zhao, Y. Zheng, K. He, Q. Zhang, 2018, Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions Atmos. Chem. Phys., 18, pp. 14095-14111

Citepa 2020 – rapport CCNUCC – Rapport National d'Inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et du Protocole de Kyoto. Mars 2020

Derwent, R. G. ; Jenkin, M. E. ; Saunders, S. M. ; Pilling, M. J., 1998, Photochemical creation potentials for organic compounds in northwest Europe calculated with a master chemical mechanism, Atmospheric Environment. Volume 32, Issues 14-15, pp. 2429-2441. DOI : ttps://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00053-3.

European Climate and Health Observatory - Effets de l'ozone troposphérique sur la santé humaine dans le contexte du changement climatique - https://climate-adapt.eea.europa.eu/fr/observatory/evidence/health-effects/ground-level-ozone/ground-level-ozone?set_language=fr

Institut national de l'environnement industriel et des risques, 2004 - Effets des dépôts atmosphériques de soufre et d'azote sur les sols et les eaux douces en France. Novembre 2004

Institut national de l'environnement industriel et des risques, 2020 - Pollution atmosphérique à l'ozone : décryptage - https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/qualite-air/qualite-air-ambiant/pollution-atmospherique-ozone

IPCC- AR5-2014 - Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Maas 2016 - Maas, R., P. Grennfelt (eds), 2016. Towards Cleaner Air. Scientific Assessment Report 2016. EMEP Steering Body and Working Group on Effects of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution

Météo France - Qu'est-ce qu'une goutte froide ? - https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/la-goutte-froide

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires - Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2023 - https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2023

Seigneur 2018 - Seigneur Ch. – Pollution atmosphérique – Concepts, théorie et applications - BELIN éducation - ISBN 978 -2-410-00855-5.

Schucht s., Tognet f., Colette a., Letinois l., Lenoble c., Agasse s., Mathieu q. 2019. Coût économique pour l'agriculture des impacts de la pollution de l'air par l'ozone - APollO : Analyse économique des impacts de la pollution atmosphérique de l'ozone sur la productivité agricole et sylvicole en France. Rapport,160 pages.

Section NH_3

Directive (EU) 2016/2284 du Parlement Européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques, modifiant la directive 2003/35/CE et abrogeant la directive 2001/81/CE. Lien.

Ministère de la Transition écologique et Solidaire. Arrêté du 10 mai 2017 établissant le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PRÉPA). Lien.

ADEME, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Ministère de la Transition écologique et Solidaire, Citepa (2019). Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air. Lien.

Task Force on Reactive Nitrogen – TFRN (2014). Option for Ammonia Mitigation. Lien.

Commission européenne. European Green Deal – Farm to Fork Strategy. Lien.

Agence européenne pour l'Environnement – AEE (2020). National Emission Ceilings Directive emissions data viewer 1990-2021. Lien.

B. Zheng, D. Tong, M. Li, F. Liu, C. Hong, G. Geng, H. Li, X. Li, L. Peng, J. Qi, L. Yan, Y. Zhang, H. Zhao, Y. Zheng, K. He, Q. Zhang Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions Atmos. Chem. Phys., 18 (2018), pp. 14095-14111. Lien.

Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Plan Matériels d'Epandage Moins Emissifs (PMEE), 2021. Lien.

Rapport de la Commission au Parlement et au Conseil : 3e éd. du rapport « Perspectives en matière d'air pur » (2022). Lien.

Section CO

Airparif - Le monoxyde de carbone - https://www.airparif.asso.fr/monoxyde-de-carbone-co

B. Zheng, D. Tong, M. Li, F. Liu, C. Hong, G. Geng, H. Li, X. Li, L. Peng, J. Qi, L. Yan, Y. Zhang, H. Zhao, Y. Zheng, K. He, Q. Zhang Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions Atmos. Chem. Phys., 18 (2018), pp. 14095-14111

Mattiuzzi C., Lippi G., 2019 : Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning.

Santé Publique France – Quelles peuvent être les conséquences d'une exposition au monoxyde de carbone ? - https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/exposition-a-des-substances-chimiques/monoxyde-de-carbone/les-enjeux-de-sante/quelles-peuvent-etre-les-consequences-d-une-exposition-au-monoxyde-de-carbone

Section Métaux lourds

AARHUS 2012. Protocole à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, de 1979 relatif aux métaux lourds.

https://unece.org/environment-policy/air/protocol-heavy-metals

AEE 2020 – Agence de l'environnement européenne - Air quality in Europe – 2020 report. N° 09/2020. ISBN 978-92-9480-292-7.

Arrêté 1998. Arrêté du 02/02/98 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

https://aida.ineris.fr/consultation_document/5657

CCC 2022. Chemical Co-ordinator Centre of EMEP. Wenche Aas and Pernilla Bohlin Nizzetto. EMEP Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe. Heavy metals and POP measurements, 2020.

EEA-UNECE 2024 - European Union emission inventory report 1990-2022 Under the UNECE Air Convention – EEA Report n°03/2024.

MERA 2023 - https://www.lcsqa.org/fr/actualite/mera-observatoire-national-mesure-evaluation-zone-rurale-pollution-atmospherique-longue-di (site accédé en avril 2023).

MINAMATA 2025 – Site de la Convention de Minamata accédé le 22 mai 2025. http://www.mercuryconvention.org/Accueil/tabid/5576/language/fr-CH/Default.aspx

Seigneur, 2018 - Seigneur Ch. - Pollution atmosphérique. Concepts, théorie et applications - Edition Belin 2018.

Dans la suite des analyses, les fiches ont été consultées : INERIS 2010a. La Rocca b. et autres. Arsenic et ses dérivés inorganiques.

INERIS 2010b. Vincent JM. et autres. Mercure et ses dérivés

INERIS 2014. Bisson M. et autres. Cadmium et ses dérivés.

INERIS 2005a. Bisson M. et autres. Chrome et ses dérivés.

INERIS 2005b. Bisson M. et autres. Cuivre et ses dérivés.

INERIS 2006. Bisson M. et autres. Nickel et ses dérivés.

INERIS 2016. Amara A. et autres. Plomb et ses dérivés.

INERIS 2011. Bisson M. et autres. Sélénium et ses dérivés.

INRS 2012. Fiche toxicologique du zinc et ses composés minéraux (fiche 75)

OMS 2007 – Organisation Mondiale de la Santé - Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution – 2007 - ISBN 978 92 890 7179 6.

TFHM 2006 – Task Force on Heavy Metals - Best Available Scientific Information on the Effects of Deposition of Heavy Metals from Long-Range Atmospheric Transport - 2006

Section POP

ADEME 2016 – Guirial C. et aut. – 2016 - Synthèse bibliographique sur les émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'air. Facteurs d'émissions, outils d'estimation des émissions, évaluations environnementales et perspectives de recherche.

https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/emissions-pesticides-air-2016_rapport_final_1.pdf

Agence européenne pour l'Environnement - Air quality in Europe – 2018 report. N°12. ISBN 978-92-9213-989-6

Agence Européenne pour l'Environnement - Air quality in Europe – 2020 report. N°09/2020. ISBN 978-92-9480-292-7

Agence européenne pour l'Environnement - European Union emission inventory report 1990-2017 - https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-emissions-inventory-report-2017

AIRPARIF 2018 – Etude des dioxines chlorées et bromées dans l'air ambiant, à proximité de sources diffuses. 2018

ANSES 2017 - Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, relatif à la « proposition de modalités pour une surveillance nationale des pesticides dans l'air ambiant. Saisine n° « 2014-SA-0200 »

ANSES 2020 – Campagne nationale exploratoire des pesticides dans l'air ambiant : premières interprétations sanitaires - Rapport d'appui scientifique et technique révisé –

https://www.anses.fr/fr/content/rapport-ast-r%C3%A9vis%C3%A9-de-lanses-relatif-aux-premi%C3%A8res-interpr%C3%A9tations-des-r%C3%A9sultats-de-la

Agence de Protection de l'Environnement US - Hexachlorobenzene - https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/hexachlorobenzene.pdf

Association Santé Environnement France – http://www.asef-asso.fr/

Agence Régionale de Santé Île de France – « Polluants organiques persistants dans les œufs de poulaillers domestiques : ce qu'il faut savoir » - https://www.iledefrance.ars.sante.fr/polluants-organiques-persistants-dans-les-oeufs-de-poulaillers-domestiques-ce-quil-faut-savoir

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes - Programme de surveillance des Dioxines, Furanes & Métaux lourds en 2015 et 2016 - https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/programme-de-surveillance-des-dioxines-furanes-metaux-lourds-en-2015-et-2016

Atmo Nouvelle-Aquitaine - Surveillance de la qualité de l'air - dioxines – autour de l'usine International Paper - https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/publications/surveillance-de-la-qualite-de-lair-dioxines-autour-de-lusine-international-paper-87

Centre Leon Bernard - Site Cancer et environnement - https://www.cancer-environnement.fr/40-Accueil.ce.aspx

Convention Stockholm 2019 - Accès au site de la Convention

http://www.pops.int/TheConvention/ThePOPs/tabid/673/Default.aspx

Denis & Donella Meadows & Jorgen Randers – Les limites à la croissance, Edition spéciale 50 ans (2022), Chapitre 4. World3: La dynamique de la croissance dans un monde fini, Sous chapitre: Avec limites et avec retards

EMEP 2018 - EMEP Status Report 3/2018 - Persistent Organic Pollutants: assessment of transboundary pollution on global, regional, and national scales

INERIS, 2011. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Les polychlorobiphényles (PCB), DRC-11-118962-11081A, 89 p. (http://rsde.ineris.fr/ ou http://www.ineris.fr/substances/fr/)

INERIS 2018 – Site accédé en juin 2019

https://www.ineris.fr/fr/lancement-campagne-exploratoire-nationale-mesure-residus-pesticides-air

Inserm - https://www.inserm.fr/

Inserm - « Dioxines dans l'environnement. Quels risques pour la santé ? » - http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/181

Laboratoire Aeris / Observatoire Midi Pyrénées / Laboratoire Centrale de la Surveillance de la Qualité de l'Air - OMER7A – http://omer7a.obs-mip.fr/

MERA 2019 - https://www.lcsqa.org/fr/actualite/mera-observatoire-national-mesure-evaluation-zone-rurale-pollution-atmospherique-longue-di (site accédé en juin 2019)

Observatoire Midi Pyrénées – Polluants organiques persistants - https://omer7a.obs-mip.fr/malette/fiches/POP-Polluants-Organiques-Persistants.html

Organisation Mondiale de la Santé - https://www.who.int/fr

Organisation Mondiale pour la Santé - « Les dioxines et leurs effets sur la santé » - https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health

PREPA 2017 - Décret no 2017-949 du 10 mai 2017 fixant les objectifs nationaux de réduction des émissions de certains polluants atmosphériques en application de l'article L. 222-9 du code de l'environnement et Arrêté du 10 mai 2017 établissant le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques

PROJET REPP'AIR - https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/innovation-rd/energie-climat/evenements/journee-de-restitution-des-travaux-du-projet-reppair-2020/

UN Environnement – « UPOPs (Unintentional POPs) » - https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/persistent-organic-pollutants/upops-unintentional-pops

UN Environnement – « Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants » - https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/persistent-organic-pollutants/global-monitoring

UN Environnement – « POPs destruction technologies » - https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/persistent-organic-pollutants/pops-destruction

UN Environnement – « Alternatives to DDT » - https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/persistent-organic-pollutants/alternatives-ddt

Ineris - https://substances.ineris.fr/fr/substance/1734

Section PM

AEE, 2025 – Agence de l'environnement européenne – Air quality status report 2025 – 2025 Web report. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025

AEE, 2024 - Premature deaths due to exposure to fine particulate matter in Europe. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/health-impacts-of-exposure-to et

https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution-2024

AEE, 2024, bis – Agence de l'environnement européenne – Europe's air quality status 2024 – June 2024 https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024

AEE, 2013 - Agence de l'environnement européenne – Status of black carbon monitoring in Europe in 2013. 2013 report. ISBN 978-92-9213-415-0 https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/status-of-black-carbon-monitoring

ANSES 2018 - ANSES – Juin 2018 – Polluants émergents dans l'air ambiant. Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance.

ANSES 2024 – ANSES – Septembre 2024 – Carbone suie des particules de l'air ambiant extérieur – Avis complété de l'Anses Rapport d'expertise collective. https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2019SA0198RA.pdf

CARA 2018 – Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) – 2018 - Bilan des travaux 2017 du programme CARA. INERIS : DRC-18-167619-02995A

https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/LCSQA2017-bilan%20prog%20CARA%202017.pdf

CICR 2013 - Centre international de recherche sur le cancer - 2013 - Air pollution and cancer - Editors, K. Straif, A. Cohen, J. Samet. IARC Scientific Publications; 161. ISBN 978-92-832-2166-1

OMS 2024 - Organisation mondiale de la santé – 2024 – page du site web qualité de l'air et santé. Publication du 24 octobre 2024. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

LCSQA 2019 - Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) – 2019 - Mesure des particules ultrafines au sein du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air – Note technique. https://www.lcsqa.org/fr/rapport/mesure-des-particules-ultrafines-au-sein-du-dispositif-national-de-surveillance-de-la

IPCC- AR5-2014 - Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forc¬ing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

SDES 2024 – Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2023 – octobre 2024 https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2023

SDES 2021 – Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2020 – octobre 2021 https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2020

Vohra, K., et al. "Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem." Environmental research 195 (2021): 110754.

Chapitre Transports

GIEC, 1999. 'Aviation and the global atmosphere.' Eds: Penner, J.E., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J., MsFarland, M., Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

GIEC, 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds). Publié : IGES, Japon.

Crédits des illustrations

Couverture @ Sven Huls / Pexels

Politique GES : © Asahi Shimbun / Getty images

GES @Borja lopez / Pexels

Energie : Pixabay

Industrie @Reswan / Pexels

Bâtiments @Serinus / Pexels

Transports @Sliceisop / Pexels

Déchets @Alex Fu / pexels

UTCATF @Slimmars / Pexels

Emissions naturelles : Pixabay