



Polluants atmosphériques

Polluants atmosphériques

Rédaction

Mark TUDDENHAM
Colas ROBERT

← Retrouvez notre veille air & climat en ligne : citepa.org/fr/veille-air-climat/

Sommaire du chapitre

Politique et réglementation sur la pollution atmosphérique et la qualité de l'air	143
Action à l'international	143
Action européenne	146
Emissions de polluants et objectifs : récapitulatif.....	151
Au niveau français	158
Acidification, eutrophisation et pollution photochimique	165
Métaux lourds	207
Polluants organiques persistants	249
Particules.....	281

Pollution atmosphérique transfrontière et qualité de l'air

Vue d'ensemble de l'actualité récente

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 des dépassements des seuils réglementaires de qualité de l'air, notamment pour les PM₁₀ et NO₂. Par ailleurs, en 2021, l'OMS a mis à jour ses valeurs-guides pour la qualité de l'air extérieur, et ce alors même que les valeurs-guides édictées en 2005 ne sont pas encore respectées. La Commission européenne a démarré les travaux d'un nouveau 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 proposition de nouvelle directive qualité de l'air est attendu à l'automne 2022. La Commission a aussi finalisé son programme de révision de la directive 2010/75/UE, émissions industrielles (IED). La proposition de directive a été publiée en avril 2022. De son côté, la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) a lancé le programme d'examen du Protocole de Göteborg amendé, pour préparer sa révision potentielle en 2023.

Action à l'international

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 pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) a été signée par 32 pays (dont la France) en 1979, ce qui en fait le plus ancien traité multilatéral sur la pollution de l'air et surtout, le seul traité international sur la question. Elle est entrée en vigueur en 1983.

La CLRTAP définit les principes généraux de la coopération internationale pour la réduction de la pollution atmosphérique et la mise en place d'un cadre institutionnel qui réunit la recherche et la politique. La Convention a 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 SO₂ 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 Etats 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 à ne pas dépasser. Au fil des années, le nombre de polluants visés par la CLRTAP et ses Protocoles s'est progressivement agrandi pour couvrir le carbone suie, les polluants organiques persistants, les métaux lourds et les particules fines.

Les Protocoles adoptés en application de cette Convention sont les suivants :

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 1^{er} novembre 1988, est entré en vigueur le 14 février 1991. La France s'est vue assigner l'objectif de stabiliser ses émissions entre 1987 et 1994. La France a 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 a accepté l'objectif de réduire ses émissions de 30% entre 1988 et 1999. A noter que 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 en ce qui concerne les Polluants Organiques Persistants 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 ainsi que 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. De nouvelles valeurs limites d'émission (VLE) sont 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, le nombre de ratifications minimal ayant été atteint.

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 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 1^{er} décembre 1999 par 31 Parties dont la France, est entré en vigueur le 17 mai 2005. Il porte sur trois polluants déjà concernés par les Protocoles cités précédemment (SO₂, NO_x et COVNM) plus le NH₃. La France doit respecter des plafonds d'émissions définis en rejets massiques absolus en 2010. Ces plafonds sont de 400 kt pour le SO₂, 860 kt pour les NO_x, 1 100 kt pour les COVNM et 780 kt pour le NH₃. Ces plafonds sont 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 effet, malgré les 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 (SO₂, NO_x, COVNM et NH₃) 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 SO₂, de -50% pour les NO_x, de -43% pour les COVNM, de -4% pour le NH₃ et de -27% pour les PM_{2,5} par rapport à ses émissions de 2005. Le Protocole amendé met en place de 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 VLE, ni aucun plafond ne sont toutefois mis en place aujourd'hui 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 19^e ratification par la Suisse le 24 juillet 2019, le Protocole de Göteborg amendé est entré en vigueur le 7 octobre 2019 (entrée en vigueur 90 jours après ratification par deux tiers des 27 Parties qui ont ratifié le Protocole de Göteborg de 1999, soit 18 Parties). Au 19 mai 2022, 26 Parties avaient ratifié l'amendement. La France l'a ratifié le 6 décembre 2021.

La CEE-NU a lancé la revue (réexamen) du Protocole de Göteborg puisque l'amendement de 2012 est entré en vigueur. La revue se poursuit jusqu'en fin d'année 2022. Si la décision de révision est prise lors de la réunion annuelle de l'organe exécutif de la Convention, la révision proprement dite et les négociations auront lieu sur 2023 et 2024 au moins.

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 NO_x cependant, il y a lieu d'observer que le niveau de réduction exigé pour 2010 a été atteint avec un décalage de quelques années (NO_x Sofia et NO_x 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). Le respect définitif des engagements sera toutefois acté avec l'inventaire réalisé en 2022.

Convention de Minamata sur le mercure

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 Etats membres (Bulgarie, Danemark, Hongrie, Malte, Pays-Bas, Roumanie et Suède) mi-mai 2017, la Convention est entrée en vigueur le 16 août 2017. Au total, au 19 mai 2022, 137 Parties avaient ratifié la Convention. La France l'a ratifiée le 15 juin 2017.

Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants

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. Au 19 mai 2022, 185 Parties l'avaient ratifiée (dont la France, le 17 février 2002). Elle vise à limiter et, à terme, à éliminer leurs production, utilisation, commerce, rejet et stockage intentionnels ou non-intentionnels. 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]). Au total, à ce jour (mai 2022), 17 nouveaux POP ont été ajoutés aux 12 POP initiaux et ce, via des amendements à la Convention lors des différentes Conférences des Parties (COP). La Convention de Stockholm prend en compte un nombre de POP beaucoup plus élevé que le Protocole d'Århus (CEE-NU). Au titre de la Convention POP, les Parties sont également tenues d'élaborer et adopter des plans de mise en œuvre (et 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.

Le 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 et la France l'a ratifié le 10 juillet 2009. Au 19 mai 2022, 38 Parties l'avaient ratifié.

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

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 parfois lignes directrices) relatives à la qualité de l'air (*air quality guidelines*). Il s'agit de la troisième mise à jour des lignes directrices de l'OMS.

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 afin de 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 basées 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'O₃ (pendant les pics saisonniers), le NO₂ et le CO

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*).

(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).

La 3^e révision des lignes directrices pour la qualité de l'air de l'OMS donne de nouvelles valeurs indicatives concernant **six polluants de l'air : les particules (PM₁₀ et PM_{2,5}), l'ozone (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) 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/m ³)	Moyenne annuelle	10	5
	Moyenne sur 24h	25	15
PM ₁₀ (en µg/m ³)	Moyenne annuelle	20	15
	Moyenne sur 24h	50	45
O ₃	Pic <u>saisonnier</u> ^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 : ^a : moyenne du maximum journalier des concentrations moyennes de O₃ sur 8h au cours des six mois consécutifs où la concentration moyenne d'O₃ a été la plus élevée.

On peut notamment retenir que la valeur guide pour les PM_{2,5} en moyenne annuelle a été sévèrement, passant de 10 µg/m³ en 2005 à 5 µg/m³ en 2021 ; de même pour celle pour le NO₂ qui, en moyenne annuelle, passe de 40 µg/m³ en 2005 à seulement 10 µg/m³ en 2021.

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 a été publiée au JOUE L 344 du 17 décembre 2016.

Ce texte vient réviser la directive 2001/81/CE relative aux plafonds d'émission nationaux, dite directive NEC 1, adoptée le 23 octobre 2001. Celle-ci 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 : SO₂, NO_x, COVNM et NH₃. Ces plafonds étaient fixés pour 2010.

La nouvelle directive, qui a abrogé la directive NEC 1 le 1^{er} 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 Etats membres doivent limiter leurs émissions anthropiques annuelles de cinq polluants : SO₂, NO_x, NH₃, 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 Etats 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 NO_x 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%
NO _x	-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 (PREPA - voir plus loin).

La directive oblige les Etats 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 Etats membres devaient

soumettre leur premier programme national avant le 1^{er} avril 2019, à mettre à jour au minimum tous les quatre ans par la suite. Au 19 mai 2022, un seul Etat membre n'avait toujours pas remis son NAPCP : la Roumanie.

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
<ul style="list-style-type: none">• SO₂, NO_x, COVNM, NH₃, 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)
<ul style="list-style-type: none">• PM₁₀, PM_{2,5} et si disponible carbone suie	Déclaration annuelle de 2000 jusqu'à l'année de déclaration moins 2 (n-2)

Les Etats 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 prennent 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 Etats 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 Propre s'est tenue à Paris les 16-17 novembre 2017. Elle a rassemblé plus de 300 participants. Les discussions ont été axées sur trois thèmes : 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 2^e réunion du Forum Air Propre a eu lieu les 28-29 novembre 2019 à Bratislava (Slovaquie). Elle 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 3^e réunion du Forum Air Propre s'est tenue les 18-19 novembre 2021 à Madrid. Cette troisième édition a été axée sur 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,
- la révision des règles de l'UE sur la qualité de l'air.

Le 26 juin 2020, la Commission européenne a publié un rapport présentant l'état d'avancement de la mise en œuvre de la directive 2016/2284 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques (dite NEC-2). Il s'agit du premier rapport de mise en œuvre de cette

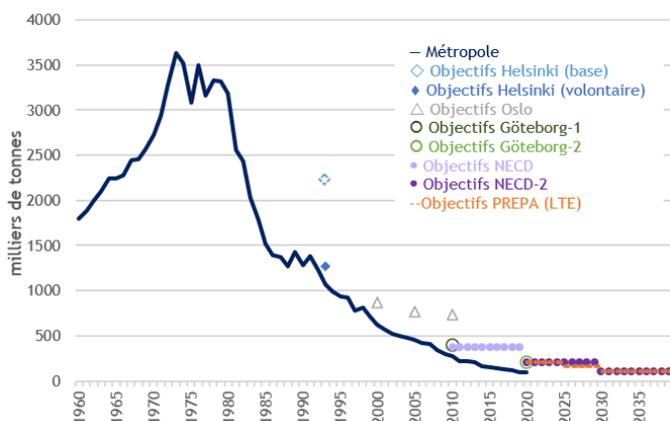
directive, réalisé en application de son article 11. La Commission a également publié l'analyse de chacun des NAPCP et des projections d'émissions de chaque État membre. Le rapport de mise en œuvre présente les progrès réalisés jusqu'au début 2020 pour contribuer au respect des engagements nationaux de réduction des émissions. La Commission souligne qu'il est encore trop tôt pour tirer des conclusions définitives quant au chemin qu'il reste aux États membres à parcourir pour atteindre et respecter leurs objectifs au vu de leurs émissions réelles, car les données de 2020 ne seront disponibles qu'en 2022 aux fins du contrôle de conformité pour le premier palier de 2020. Toutefois, les données relatives aux projections des émissions et l'analyse des NAPCP montrent clairement **qu'il est nécessaire d'intensifier les efforts, même à court terme.**

La Commission insiste également 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 pointe le problème de l'ammoniac (NH₃). Les émissions de NH₃ continuent de faire figure d'exception dans le contexte des améliorations générales constatées à ce jour. La Commission souligne que le secteur agricole devra s'engager davantage pour parvenir aux réductions requises.

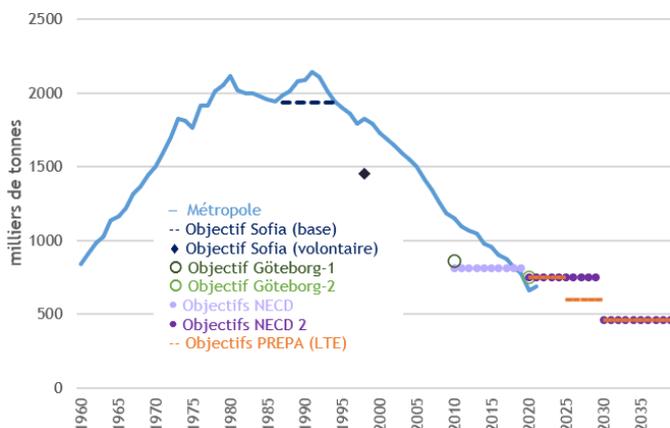
Emissions de polluants et objectifs

(voir aussi les sections dédiées à chaque substance)

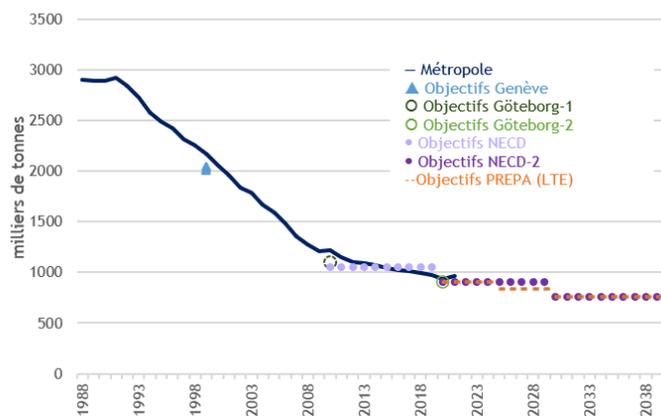
Evolution des émissions de SO₂ en France



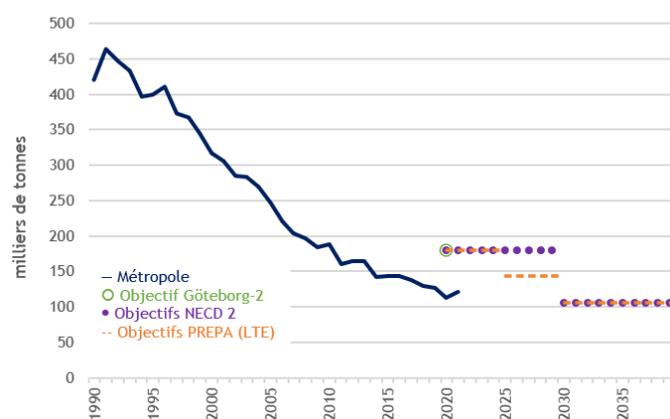
Evolution des émissions de NO_x en France



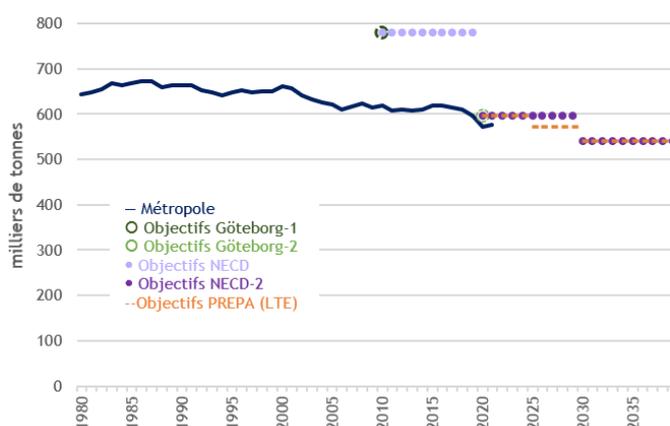
Evolution des émissions de COVNM en France



Evolution des émissions des PM_{2.5} en France



Evolution des émissions de NH₃ en France



Légende

Genève : Protocole de Genève de 1991 sur les COV dans le cadre de la CLRTAP

Göteborg-1 : Protocole de Göteborg de 1999, multi-polluants, entré en vigueur en 2007

Göteborg-2 : amendement de 2012 au Protocole de Göteborg de 1999, multi-polluants, non ratifié par la France, en vigueur

Helsinki : Protocole d'Helsinki de 1985 sur le SO₂ dans le cadre de la CLRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance), avec un objectif de base et un objectif volontaire de la France

NECD : Directive 2001/81/EC sur les plafonds d'émissions nationaux (National Emission Ceilings Directive)

NECD-2 : Directive 2016/2284 sur les plafonds d'émissions nationaux (National Emission Ceilings Directive)

Oslo : Protocole d'Oslo de 1994 sur le SO₂ dans le cadre de la CLRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance)

PREPA : Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques de 2017 (décret n° 2017-949) prévu par la LTE (Loi 2015-992 relative à la transition énergétique pour la croissance verte)

Sofia : Protocole de Sofia de 1988 sur les NO_x dans le cadre de la CLRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance), avec un objectif de base et un objectif volontaire de la France

Procédure d'ajustement pour les NOx

Pour les NOx, il y a lieu d'observer que l'objectif de réduction de 30 % entre 1980 et 1998 (Protocole de Sofia) n'a été atteint qu'en 2006. De même, pour les plafonds 2010 sur les NOx (Protocole de Göteborg et directive NEC-1), ces derniers n'ont pas été respectés en 2010 mais atteints avec un décalage de quelques années.

En effet, le plafond fixé pour la France dans le cadre du Protocole de Göteborg est un total d'émissions de 860 Gg de NOx à atteindre en 2010, or les émissions imputables à la France, jusqu'en 2017, dépassent ce plafond.

Ces plafonds ayant été fixés en valeur absolue, il est par conséquent nécessaire de tenir compte de la différence de méthodes d'estimation entre le moment où ce plafond a été fixé et l'estimation d'aujourd'hui.

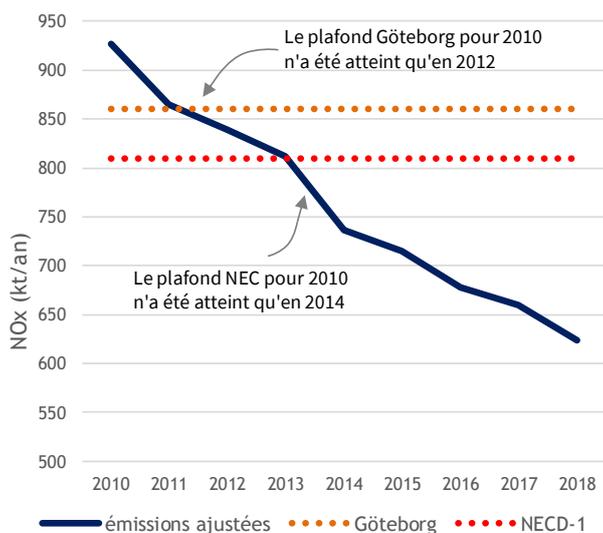
Les difficultés rencontrées pour l'atteinte des objectifs NOx sont notamment liées à des modifications méthodologiques dans les inventaires en effet.

Dans le cadre du Protocole de Göteborg, en cas de dépassement des plafonds, la décision 2012/12 ECE/EB.AIR/113/Add.1 prévoit une procédure permettant de procéder à des ajustements des inventaires d'émissions nationaux afin de les rendre comparables avec les plafonds initiaux.

La France a décidé d'appliquer cette procédure d'ajustement qui permet d'évaluer le respect ou non des plafonds dans des conditions comparables, en faisant abstraction des améliorations méthodologiques des inventaires des émissions réalisées qui empêchent d'atteindre les objectifs de réduction (sachant que les objectifs de réduction d'émissions ne sont pas révisés en fonction de l'avancée des connaissances scientifiques et techniques à la différence des inventaires).

En prenant en compte cette procédure d'ajustement, les émissions de NOx de la France ne respectent pas le plafond fixé pour 2010 dès l'année 2010. Le plafond 2010 du Protocole de Göteborg n'est atteint qu'en 2012 et celui de la NEC qu'en 2014.

Depuis 2018, les émissions sans ajustements (812 kt) respectent le plafond du Protocole de Göteborg. C'est le cas en 2019 pour le plafond NEC, avec 774 kt émis. Les procédures d'ajustement ne sont donc plus requises à partir de ces dates.



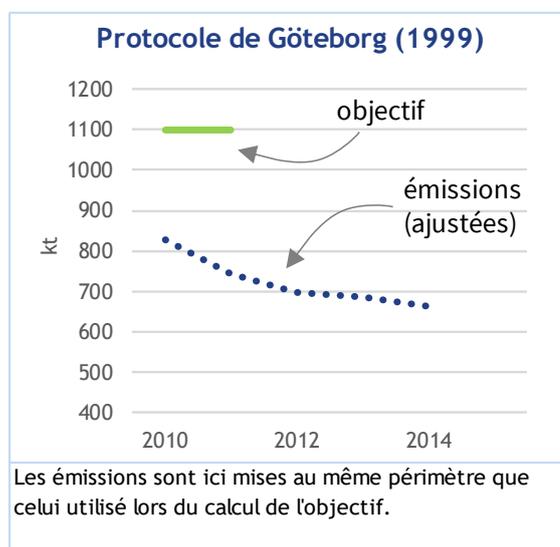
La procédure d'ajustement a porté sur le secteur du transport routier. Le plafond d'émissions de NOx a été déterminé sur la base du modèle d'émissions COPERT II alors que l'inventaire

actuel utilise la version la plus récente du modèle COPERT qui a fortement révisé à la hausse les facteurs d'émission NOx.

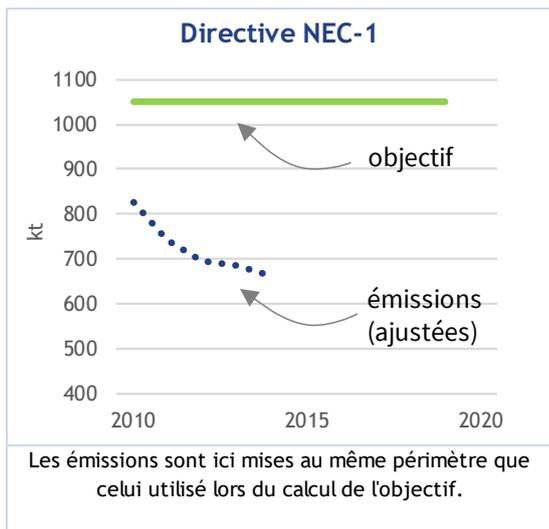
A partir de 2020, si besoin, l'ajustement peut prendre aussi en compte aussi le secteur de l'agriculture, car des émissions de NOx de ce secteur, jusqu'ici comptabilisées « hors total », sont désormais incluses dans le secteur agricole, conformément au guide méthodologique EMEP. Il est à noter que la France respecte son engagement NOx pour 2020 (Protocole de Göteborg amendé et directive européenne 2284/2016 réduction des émissions) sans recours même aux ajustements. Le respect définitif de l'engagement sera toutefois acté avec l'inventaire réalisé en 2022.

Procédure d'ajustement pour les COVNM

A noter que pour les COVNM, des émissions auparavant comptabilisées « hors total » sont désormais incluses dans le secteur agricole, conformément au guide méthodologique EMEP. Dès lors, ce périmètre n'est plus le même que celui utilisé pour les objectifs fixés pour les COVNM par le Protocole de Göteborg et par la NEC. Si l'on compare les émissions de COVNM à périmètre équivalent à celui de ces objectifs, les objectifs sont bien atteints.

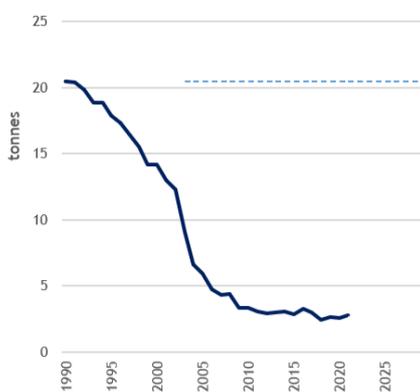


Il est à noter que la France respecte son engagement COVNM pour 2020 mais avec l'ajustement consistant à exclure les COVNM de l'agriculture (Protocole de Göteborg amendé et directive européenne 2284/2016 réduction des émissions). Le respect définitif de l'engagement sera toutefois acté après la revue CLRTAP de l'inventaire édition 2022.

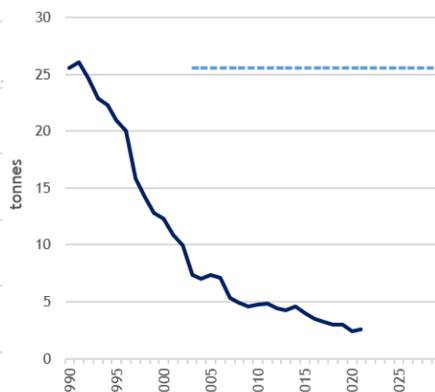


Objectifs visant les métaux lourds

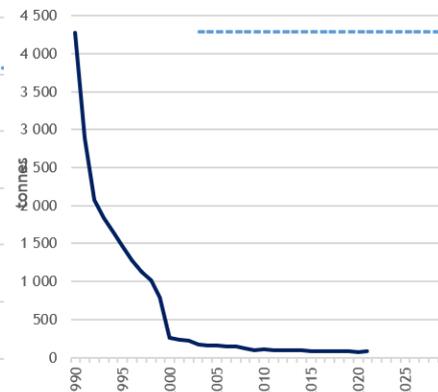
Evolution des émissions de Cd en France



Evolution des émissions de Hg en France

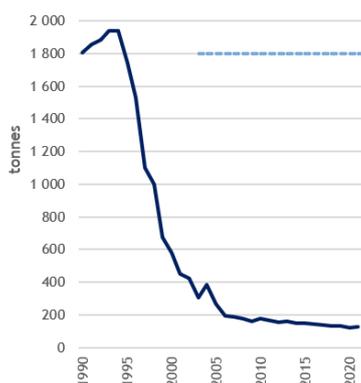


Evolution des émissions de Pb en France

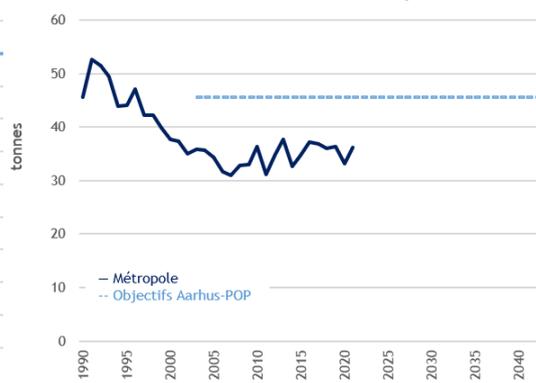


Objectifs visant les POP

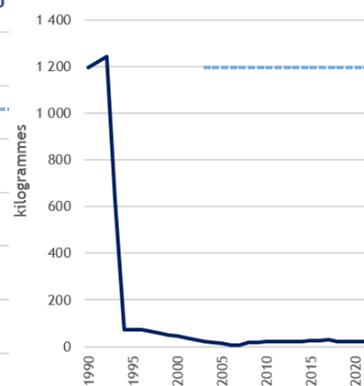
Evolution des émissions de PCDD-F



Evolution des émissions des 4 HAP visés par la CEE-NU



Evolution des émissions de HCB



Légende

Aarhus-ML : Protocole d'Aarhus de 1998 sur les métaux lourds, entré en vigueur en 2003

Aarhus-POP : Protocole d'Aarhus de 1998 sur les polluants organiques persistants, entré en vigueur en 2003

Objectifs d'émissions de la France et situation en 2020

Source Citepa / Format CEE-NU - mars 2022

unece.xlsx / Tot_nat

Substance	Unité	Protocole	Référence		Objectif		Position par rapport aux objectifs		
			Année	Niveau d'émission	Année	Engagement relatif ou absolu (1)	Année	Niveau d'émission	Atteinte des objectifs
SO ₂	Gg	1 ^{er} protocole SO ₂	1980	3 185	1993	1 274	1993	1 068	Oui
		2 ^{ème} protocole SO ₂			2000	868	2000	616	Oui
		2 ^{ème} protocole SO ₂			2005	770	2005	458	Oui
		2 ^{ème} protocole SO ₂			2010	737	2010	269	Oui
		Göteborg-1			2010	400	2010	269	Oui
		NECD-1			2010	375	2010	269	Oui
		Göteborg-2 & NECD-2	2005	458	2020	206	2020	91	Oui
		NECD-2	2005	458	2030	105	2020	91	en cours
NO _x		protocole NO _x	1987	1 984	1994	1 984	1994	1 944	Oui
		protocole NO _x	1980	2 113	1998	1 479	1998	1 828	Non
		Göteborg-1			2010	860	2010	1 150	Non (*)
		NECD-1			2010	810	2010	1 150	Non (*)
		Göteborg-2 & NECD-2	2005	1 500	2020	750	2020	660	Oui
		NECD-2	2005	1 500	2030	465	2020	660	en cours
NH ₃	Gg	Göteborg-1			2010	780	2010	618	Oui
		NECD-1			2010	780	2010	618	Oui
		Göteborg-2 & NECD-2	2005	620	2020	596	2020	573	Oui
		NECD-2	2005	620	2030	540	2020	573	en cours
COVNM	Gg	protocole COVNM	1988	2 906	1999	2 034	1999	2 165	Non
		Göteborg-1			2010	1100	2010	1 219	Oui
		NECD-1			2010	1050	2010	1 219	Oui
		Göteborg-2 & NECD-2	2005	1 587	2020	905	2020	939	Oui
		NECD-2	2005	1 587	2030	762	2020	939	en cours
PM _{2,5}	Gg	Göteborg-2	2005	247	2020	180	2020	113	Oui
		NECD-2	2005	247	2030	106	2020	113	en cours
Cd	Mg	protocole d'Aarhus	1990	20		20	2020	2,6	Oui
Hg	Mg		1990	26		26	2020	2,4	Oui
Pb	Mg		1990	4 274		4 274	2020	72	Oui
PCDD/F	g ITEQ		1990	1 802		1 802	2020	122	Oui
Total HAP	Mg		1990	46		46	2020	33	Oui
BaP	Mg		1990	13		13	2020	9,5	Oui
BbF	Mg		1990	15		15	2020	10,9	Oui
BkF	Mg		1990	9		9	2020	6,8	Oui
IndPy	Mg		1990	8		8	2020	6,0	Oui
HCB	kg		1990	1 197		1 197	2020	22	Oui

(1) Les objectifs peuvent être relatifs (colorés dans le tableau) ce qui correspond à un objectif de réduction des émissions entre une année de référence et une année d'échéance ou absolu qui correspond à une valeur d'émission à ne pas dépasser pour une année
 (*) Objectif non atteint pour l'année prévue, mais atteint les années suivantes en prenant en compte les procédures d'ajustement transport et agriculture

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.

Cette directive vise 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 SO₂, le NO₂/NO_x, les PM₁₀ 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 Etats membres.

La directive 2008/50/CE :

- fixe 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,
- définit des règles de surveillance, de gestion et d'évaluation de la qualité de l'air ambiant dans les Etats membres sur la base de méthodes de mesure et de critères communs,
- établit les dispositions pour obtenir des informations (obligations de rapportage par les Etats 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,
- définit des règles pour mettre ces informations à la disposition du public et pour renforcer la coopération entre les Etats membres en vue de réduire la pollution atmosphérique.

Par ailleurs, la directive 2004/107/CE fixe 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"). A 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 1^{ère} 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.

Evaluation 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 complète 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 presque 20 ans et elles n'ont 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 basée sur les progrès réalisés dans tous les Etats 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 Etats 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 tous les objectifs n'ont pas été atteints à ce jour et que les lacunes qui restent à combler pour respecter les normes de qualité de l'air sont dans certains cas trop importantes.

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 (Organisation mondiale de la santé,

2005), 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 Etats 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 Etats membres devaient consentir davantage d'efforts pour réduire la durée des périodes de dépassement.

Malgré ces lacunes, l'évaluation n'indiquait pas encore de volonté de réviser les normes européennes de qualité de l'air, pourtant fixées il y a 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).

Infractions contre la France

La Commission 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 PM₁₀,
- 2) pour transposition incomplète de la directive 2008/50/CE,
- 3) pour dépassement des VLC applicables au NO₂.

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 (PM₁₀). 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 PM₁₀ (50 µg/m³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile) depuis le 1^{er} janvier 2005 dans l'agglomération de Paris et, depuis le 1^{er} janvier 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 présente 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 la VLC annuelle pour le NO₂ depuis le 1^{er} 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 NO₂ depuis le 1^{er} 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. A défaut, la CJUE peut imposer des amendes.

A ce jour (19 mai 2022), la CJUE a rendu sept autres arrêts contre plusieurs Etats 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 PM₁₀. Il s'agissait de la première fois que la CJUE avait rendu un jugement contre un Etat 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 2^e arrêt, à l'encontre de la **Pologne**, pour non-respect des VLC journalière et annuelle pour les PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 NO₂ 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 NO₂ 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 NO₂ 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 ces 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 SO₂ dans le sud-est du pays depuis 2007.

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 **déla** 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.

Plan d'actions "zéro pollution" au sein du Pacte Vert (Green Deal)

Le 11 décembre 2019, la Commission européenne a présenté le **Pacte vert pour l'Europe (European Green Deal)** dans sa communication au Parlement européen et au Conseil (*réf. COM(2019)640 final*). Ce Pacte vert contient un volet sur la pollution de l'air, la Commission indiquant qu'elle adopterait en 2021 un plan d'actions "zéro pollution" pour l'air, l'eau et les sols. Elle 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 - voir plus haut). Elle proposera enfin, 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 indique que des options politiques seront 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 recommandations 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 2008/50/CE et 2004/107/CE) et ce, sur la base d'une étude d'impact initiale (*inception impact assessment*). Elle prévoit de présenter une proposition de directive au 3^e trimestre 2022.

Le 8 janvier 2021, la Commission européenne a publié la 2^e édition de son rapport biennal "Perspectives en matière d'air propre" (*Clean Air Outlook*). Ce rapport s'inscrit dans le cadre du programme 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 Propre.

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 "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 NH₃.

Dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe (*Green Deal*), la Commission européenne 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 définit :

- 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 fixe plusieurs **objectifs clés pour 2030**, dont :

- améliorer la qualité de l'air afin de réduire de 55% (par rapport à aujourd'hui) le nombre de décès prématurés causés par la pollution atmosphérique ;
- réduire de 25% (par rapport à aujourd'hui) le nombre d'écosystèmes terrestres et aquatiques de l'UE où la pollution atmosphérique menace la biodiversité.

Le plan d'actions ne définit pas 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 définit un certain nombre **d'initiatives et d'actions phares à mettre en œuvre**, notamment :

- en **2022**, un **alignement plus proche des normes de qualité de l'air de l'UE sur les nouvelles recommandations de l'OMS** (Organisation mondiale de la santé) dans le cadre de la révision de ses valeurs-guides (lignes directrices) ;
- en **2022**, le renforcement des dispositions législatives sur la surveillance, la modélisation et les plans relatifs à la qualité

Directives GIC et IED

Directive GIC (2001-2011/2016)

La directive 2001/80/CE du 23 octobre 2001 (JOCE du 27 novembre 2001), relative aux Grandes Installations de Combustion (**directive GIC**) régleme les émissions de SO₂, NO_x et particules des Grandes Installations de Combustion entrant dans le champ de la directive pour chacun des Etats membres.

Les 232 installations recensées en France métropolitaine en 2017 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,

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 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 » ;
- 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 prévoit également des actions spécifiques par secteur émetteur (agriculture, transports terrestres et maritimes, bâtiments, installations industrielles,...).

- 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 requiert :

- 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 Etats 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 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 constitue 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 directive 2001/80/CE a été abrogée par l'article 81 de la directive IED le 1^{er} janvier 2016.**

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, et
- arrêté du 2 mai 2013 relatif aux définitions, liste et critères de la directive IED.

Le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire a publié plusieurs guides pour la bonne application de la directive IED :

- un guide de mise en œuvre de la directive IED 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 la mise en œuvre des 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,
- guide de rédaction d'un dossier de réexamen pour les grandes installations de combustion d'octobre 2017,
- guide pour la simplification du réexamen d'octobre 2019.

Dans la continuité de la transposition de la directive IED, l'arrêté du 26 août 2013 concernant les installations de combustion d'une puissance supérieure ou égale à 20 MW autorisées abroge l'ensemble des arrêtés applicables aux installations de combustion (arrêté du 11 août 1999 modifié, arrêté du 20 juin 2002 modifié, arrêté du 30 juillet 2003 modifié, arrêté du 31 octobre 2007, arrêté du 23 juillet 2010) à compter du 1^{er} janvier 2014 ou du 1^{er} janvier 2016 selon l'arrêté (avec la transcription de la Directive MCP, il est à noter que les textes relatifs à la combustion de 2013 ont été modifiés en 2018 ; voir plus bas)

Le pacte vert pour l'Europe (*Green Deal*), stratégie présentée par la Commission le 11 décembre 2019, prévoit 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 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 Etats 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. Cette proposition de révision de la directive IED, prévue dans le pacte vert pour l'Europe (*Green Deal*), vise 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 CO₂, 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 NH₃ et de 43% de celles de CH₄ 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.

La proposition de directive 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*). Cette procédure devrait durer deux ans environ.

Directive MCP (depuis 2018)

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 (de 1 à 50 MW) a été publiée au JOUE du 28 novembre 2015. Des valeurs limites d'émission de SO₂, de NOx et de poussières s'appliquent aux MCP depuis le 20 décembre 2018 pour les MCP nouvelles, s'appliqueront à compter du 1^{er} janvier 2025 pour les MCP existantes de 5 à 50 MW et du 1^{er} janvier 2030 pour les MCP de 1 à 5 MW.

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 1^{er} jan. 2025 pour les installations >5 MW et à compter du 1^{er} jan. 2030 pour celles <5 MW ;
- 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) ;
- 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.

En 2019, l'ensemble de ces arrêtés a été révisé.

Le 23 septembre 2021, la Commission a formellement demandé à la France de transposer correctement en droit national la directive MCP. Les Etats membres devaient transposer les dispositions législatives de la directive MCP dans leur droit national au plus tard le 19 décembre 2017. La France n'a 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 français les dispositions législatives de la directive MCP (dont les obligations qui incombent à la France au titre de cette directive).

Le registre E-PRTR (depuis 2009)

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 Etats 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 2^e 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 (briefing) sur l'E-PRTR, à l'occasion du 10^e 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.

En s'appuyant sur les rapports précités, la Commission a pu identifier un certain nombre d'aspects où il est possible d'améliorer le règlement :

- 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 PM_{2,5} [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]).

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. L'objectif global de ces propositions est de progresser vers l'ambition de l'UE en matière de pollution zéro pour un environnement sans produits toxiques et de soutenir les politiques en matière de climat, d'énergie et d'économie circulaire.

Concrètement, la proposition de règlement vise à :

- améliorer la transparence des données et l'accès du public aux informations environnementales grâce au portail des émissions industrielles,
- réaligner le champ d'application sectoriel et la cohérence des rapports afin de mieux soutenir la mise en œuvre de la directive IED,
- améliorer la capacité à répondre aux nouvelles demandes de déclaration concernant les polluants et les activités,
- fournir des informations sur l'utilisation industrielle de l'énergie, de l'eau et des matières premières.

La proposition de directive 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). Cette procédure devrait durer deux ans environ.

Au niveau français

Loi sur la transition énergétique et le PREPA

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 section 1.1.4), fixe également 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 1^{er}).

Au titre de l'article 64 de la LTE, le Ministère de l'Environnement a adopté le PREPA en mai 2016 (se substituant ainsi 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 (cf. arrêté du 10 mai 2017 établissant le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques).

A cette fin, des objectifs nationaux de réduction des émissions de polluants atmosphériques (à l'exclusion de celles du CH₄

dues à la fermentation entérique des ruminants d'élevage) sont 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	A partir de 2030
SO ₂	-55%	-66%	-77%
NO _x	-50%	-60%	-69%
COVNM	-43%	-47%	-52%
NH ₃	-4%	-4%	-13%
PM _{2,5}	-27%	-42%	-57%

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'Etat, 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 basée 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).

Il est à noter qu'en 2021, le MTE a travaillé à la mise à jour du PREPA. L'objectif du Ministère était de le publier en cette année 2022.

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) est la mise en place des zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m). Ces dernières remplacent 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.

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, les restrictions de circulation lors des pics de pollution peuvent être prises de façon automatique par les préfets.

Avec la LOM, toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants sont amenées à étudier la faisabilité de la mise en place d'une ZFE-m. Ainsi, elle vise un déploiement rapide des ZFE-m, surtout dans les 12 agglomérations visées par le contentieux européen et où les valeurs limites de concentration pour le NO₂ et les PM₁₀ sont régulièrement dépassées (Ile-de-France, Marseille, Nice, Lyon, Grenoble, Strasbourg,...). Alors qu'il existe 231 ZFE dans l'UE (source : ADEME, 15 avril 2019), 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. La LOM facilite donc leur déploiement en donnant aux collectivités les outils nécessaires.

Après l'appel lancé par le Gouvernement, un partenariat a été signé le 8 octobre 2018 entre l'Etat et ces 15 villes et métropoles pour mettre en place ou renforcer une ZFE-m d'ici 2020. De son côté, l'Etat s'engage à mettre en place les conditions réglementaires et juridiques nécessaires au déploiement efficace de ces zones et à soutenir ces villes pour la mise en place de péages urbains et des voies de circulation dédiées aux transports en commun ou au covoiturage. En 2019, 23 collectivités, soit plus de 17 millions d'habitants concernés, sont engagées dans la démarche.

Parmi les autres mesures prévues par la LOM, on note : le renforcement du covoiturage le triplement des déplacements à vélo d'ici 2021, le renforcement du volet air des PCAET.

En application de la LOM, le décret n° 2020-1138 du 16 septembre 2021 (JO du 17 septembre 2020) fixe les critères de mise en place d'une ZFE-m. Concrètement, le décret définit 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.

Ce décret crée deux nouveaux articles (D. 2213 1 0-2 et D. 2213-1-0-3) du Code général des Collectivités territoriales qui définissent, d'une part, le non-respect de manière régulière des normes de qualité de l'air, et d'autre part, la notion de part prépondérante des transports routiers dans les dépassements :

- la notion d'infraction « régulière » : il s'agit des cas où une des valeurs limites de concentration du NO₂, des PM₁₀ ou des PM_{2,5} n'est pas respectée au moins trois des cinq dernières années ;
- les transports terrestres sont considérés comme étant à l'origine d'une part prépondérante des dépassements de valeurs limites :
 - ⇒ soit lorsque les transports terrestres sont la première source des émissions polluantes. En cas de dépassement de la valeur limite relative au dioxyde d'azote (NO₂), les émissions à prendre en compte sont celles des oxydes d'azote (NO_x). L'évaluation des émissions est réalisée pour le territoire du plan de protection de l'atmosphère (PPA), de l'établissement

public de coopération intercommunale à fiscalité ou de la commune concernés

- ⇒ soit lorsque les lieux concernés par le dépassement sont situés majoritairement à proximité des voies de circulation routière.

Par ailleurs, le décret assouplit 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. Concrètement, il prévoit des assouplissements 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, la création d'une ZFE-m n'est plus obligatoire ;
- 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, alors la création de cette dernière n'est plus obligatoire [cette deuxième exception n'était pas présente dans le projet de décret mis en consultation en mars 2020 et pourrait concerner beaucoup de territoires] ;
- 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 Ecologique et le Ministre délégué

PNSE

PNSE-1

Le premier Plan National Santé Environnement (PNSE), réalisé conjointement par quatre Ministères (Santé, Ecologie 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

chargé des Transports ont annoncé qu'en application du nouveau décret, sept nouvelles ZFE-m devront obligatoirement 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'ajoutent aux quatre ZFE-m existantes : Métropole de Lyon, Grenoble-Alpes-Métropole, Ville de Paris, Métropole du Grand Paris.

La 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 rend obligatoire la mise en place de ZFE-m pour les agglomérations de plus de 150 000 habitants d'ici le 31 décembre 2024. En complément, dans les métropoles qui enregistrent des dépassements réguliers des valeurs limites de qualité de l'air, seront 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, fixeront elles-mêmes les restrictions de circulation des véhicules les plus polluants afin de poursuivre l'amélioration de la qualité de l'air. L'article 107 de la loi Climat et Résilience prévoit 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, avec la loi Climat et Résilience, l'ensemble des agglomérations de plus de 150 000 habitants devront mettre en place une ZFE-m. Cela représente 33 nouvelles ZFE-m.

- 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, s'est inscrit, d'une part, dans la continuité du premier PNSE et, d'autre part, 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 sur les 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 NH₃ (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 6 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) a été présenté le 12 novembre 2014 en Conseil des Ministres par les Ministres de l'Ecologie et de la Santé. Il 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. Il s'agit d'actualiser le précédent programme adopté en 2003 [action déjà prévue par la loi "transition énergétique"] ;
- 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 NH₃ 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, météorologiques, 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

A 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 4^e PNSE, intitulé "Mon environnement, ma santé".

Quatre priorités sont fixées au PNSE-4 :

- 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 crise 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 couvre la période 2020-2024. Il liste 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 bâtiments ; via l'intégration d'informations sur les conditions d'aération et de ventilation dans les diagnostics de performance énergétiques 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 connaître les maladies liées aux atteintes à l'environnement ».

Les arrêts du Conseil d'Etat concernant la qualité de l'air

Le 12 juillet 2017, le Conseil d'Etat, la plus haute juridiction administrative publique française, 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 NO₂ et de PM₁₀ étaient encore dépassées en 2015, des plans "qualité de l'air" permettant de ramener les concentrations de NO₂ et de PM₁₀ en dessous des VLC fixées par la directive 2008/50/CE sur la qualité de l'air et ce, avant le 31 mars 2018. Il a constaté que les mesures mises en place, comme les Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA), étaient insuffisants.

Après avoir constaté que le Gouvernement n'a toujours pas pris les mesures permettant de respecter les valeurs limites de concentration applicables au NO₂ et aux PM₁₀ dans huit de ces 17 zones (Grenoble, Lyon, Marseille-Aix, Reims, Strasbourg et Toulouse pour le NO₂, Fort-de-France pour les PM₁₀, et Paris pour le NO₂ et les PM₁₀) le Conseil d'Etat lui a enjoint, par une deuxième décision du 10 juillet 2020, d'agir dans un nouveau délai de six mois (avant le 10 janvier 2021 donc), sous peine d'une astreinte (amende) de 10 M€ par semestre de retard (soit plus de 54 000 € par jour). Enfin, le Conseil d'Etat a précisé que ce montant, le plus élevé jamais imposé par une juridiction administrative française pour contraindre l'Etat à exécuter une décision prise, pourra être révisé par la suite, y compris à la hausse, si la décision de 2017 n'a toujours pas été pleinement exécutée.

Après avoir reçu, le 26 janvier 2021, du Ministère de la Transition écologique (MTE) 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), le Conseil d'Etat a indiqué dans un communiqué, publié le 22 février 2021, les suites qu'il comptait donner à ce contentieux et précise le calendrier à venir.

Début mars 2021, la section du rapport et des études au sein du Conseil d'Etat, chargée du suivi de l'exécution des décisions de justice de celui-ci, a procédé à l'analyse de l'ensemble des éléments transmis par le MTE et a adressé à la section du contentieux du Conseil d'Etat un premier avis. Mi-mars 2021, la section du contentieux a ouvert la phase d'instruction.

Le 4 août 2021, dans une décision le Conseil d'Etat a condamné l'Etat à payer une astreinte de 10 M€ pour le premier semestre 2021 (soit plus de 54 000 € par jour) au motif que les mesures prises par le Gouvernement à ce jour pour améliorer la qualité de l'air dans les zones en dépassement des valeurs limites de concentration du NO₂ et des PM₁₀ ne sont pas suffisantes pour considérer que la décision du Conseil d'Etat du 12 juillet 2017 est intégralement exécutée. Cette nouvelle décision, qui intervient 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'UE (*voir plus haut*), s'appuie sur les conclusions du rapporteur public du Conseil d'Etat, Stéphane Hoyneck, prononcées le 12 juillet 2021 lors d'une séance publique. A cette occasion, il avait demandé aux juges du Conseil d'Etat de statuer en ce sens.

Dans sa décision, le Conseil d'Etat a conclu que l'ensemble des mesures mises en avant par le MTE devraient avoir pour effet de poursuivre l'amélioration de la situation constatée à ce jour. 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 permettent pas, en l'état de l'instruction, de considérer qu'elles seront 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 NO₂, et à Paris pour les taux de concentration en PM₁₀, dans un délai qui puisse être considéré comme le plus court possible. Il résulte donc que l'Etat ne peut être jugé comme ayant pris des mesures suffisantes pour assurer l'exécution complète des décisions du Conseil d'Etat des 12 juillet 2017 et 10 juillet 2020 dans ces zones.

Le Conseil d'Etat condamne ainsi l'Etat au paiement de l'astreinte pour le premier semestre (11 janvier - 11 juillet 2021). Compte tenu, à la fois, de la durée du dépassement des valeurs limites (qui auraient dû être respectées depuis 2005 pour le PM₁₀ et 2010 pour le NO₂) mais aussi des mesures d'amélioration de la qualité de l'air prises depuis juillet 2020, le montant de l'astreinte n'est ni majoré ni minoré et est fixé à 10 M€, comme prévu par la décision du 10 juillet 2020.

L'astreinte pour le premier semestre 2021 était à répartir entre l'association Les Amis de la Terre-France (qui avait initialement saisi le Conseil d'Etat) et plusieurs organismes et associations œuvrant dans le domaine de la qualité de l'air pour le solde, de la façon suivante : 100 000 € à l'association Les amis de la Terre-France ; 3,3 M€ à l'ADEME ; 2,5 M€ au Cerema ; 2 M€ à l'Anses ; 1 M€ à l'Ineris ; 350 000 € à Airparif et Atmo Auvergne-Rhône-Alpes chacune ; 200 000 € à Atmo Occitanie et Atmo Sud chacune.

À la suite de cette décision, le Conseil d'Etat a annoncé qu'il allait réexaminer début 2022 les mesures et autres actions de lutte contre la pollution de l'air mises en œuvre par le Gouvernement pour la période de juillet 2021 à janvier 2022 et, si elles ne sont toujours pas suffisantes, pourra à nouveau ordonner le paiement d'une nouvelle astreinte de 10 M€, qui pourra éventuellement être majorée ou minorée. Il pourra, à cette occasion, maintenir ou modifier la répartition du produit de l'astreinte. Ainsi, la plus haute juridiction administrative publique française a décidé de maintenir la pression sur le

Gouvernement, en prévoyant la possibilité de renouveler l'astreinte.

Le plan d'actions pour réduire les émissions d'ammoniac de l'épandage

Le 31 mars 2021, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA) a annoncé l'adoption, en janvier 2021, d'un plan d'actions ministériel visant à supprimer l'utilisation des matériels les plus émissifs en 2025 (dit plan matériels d'épandage moins émissifs ou PMEE). Ce nouveau plan vise tout particulièrement à réduire les émissions d'ammoniac (NH₃) du secteur de l'agriculture, de loin le premier secteur émetteur de ce polluant en France.

L'ensemble du plan inclut :

- un **diagnostic**, qui réalise un état des lieux du parc matériels d'épandage des effluents existant dans les différentes régions françaises et des pratiques associées. Ce diagnostic permet également d'identifier les matériels agricoles et les pratiques associées réduisant le plus les émissions

d'ammoniac ainsi que de caractériser et hiérarchiser les équipements d'épandage jugés comme étant les moins/plus émissifs ;

- une **analyse Atouts - Faiblesses - Opportunités - Menaces** et une **analyse des besoins** sur la base du diagnostic ;
- un **plan d'actions** pour répondre aux besoins identifiés, sous forme de **10 fiches-actions**, couvrant **quatre axes de travail** (recherche et développement, formation ; volet financier ; volet réglementaire ; amélioration des inventaires). Pour chacune des actions, un pilote référent a été nommé et des indicateurs ont été définis.

Le plan d'actions pour réduire les émissions de PM_{2,5} du chauffage domestique au bois

Plan d'actions sur le chauffage au bois

Après avoir mené une consultation publique entre le 9 et le 30 avril 2021 sur un plan d'actions sur le chauffage au bois initialement présenté le 14 avril 2021, le MTE a publié, le 23 juillet 2021 la version définitive de ce plan d'actions. 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 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 est divisé 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),
- une **feuille de route** composée de **six axes** comportant chacun des actions concrètes à mettre en œuvre.

Les six axes

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'actions : 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 (environ 50 000 t, *source : Citepa, inventaire Secten 2021*).

Action 2-A) : abonder les fonds d'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 labélisé (cf. action 4-B). Sur la période 2020-2030, l'augmentation de l'utilisation de combustible labélisé 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'actions : 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 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. Des mesures supplémentaires et adaptées aux spécificités territoriales dans

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, désormais officiellement appelé indice ATMO, est calculé pour une journée et pour une zone géographique représentative. Il couvre dorénavant l'ensemble du territoire et non plus uniquement les agglomérations de plus de 100 000 habitants.

Les modalités techniques de calcul de l'indice ATMO sont les suivantes :

- l'indice est le résultat agrégé de la surveillance de cinq polluants atmosphériques : SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀ 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

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 PPA. Le plan d'actions 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'actions, 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 entrent en vigueur le 1^{er} septembre 2022.

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 1^{er} janvier 2021.

Citepa. Rapport Secten édition 2022

Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France

Acidification, eutrophisation et pollution photochimique

Rédaction

Benjamin CUNIASSE

Anaïs DURAND

Etienne FEUTREN

Jonathan HERCULE

Nadine ALLEMAND

► Télécharger les données associées au chapitre sur citepa.org/fr/secten

Sommaire du chapitre

AEPP : de quels phénomènes s'agit-il ?.....	166
Dioxyde de soufre (SO ₂)	171
Oxydes d'azote (NO _x)	175
Ammoniac (NH ₃).....	181
Composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)	189
Monoxyde de carbone (CO)	199
Emissions de SO ₂ , NO _x et NH ₃ en acide équivalent (Aeq).....	203

Acidification, eutrophisation, pollution photochimique : de quels phénomènes s'agit-il ?

Acidification et eutrophisation

La **pollution acide** est liée aux émissions de SO₂, NO_x mais aussi celles de NH₃ 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 SO₂ dans l'atmosphère est de l'ordre de 2 à 5 jours) de leurs sources émettrices. L'**eutrophisation** est principalement liée aux dépôts d'azote provenant des émissions de NO_x et de NH₃.

Ces polluants se transforment et retombent sous forme de retombées sèches ou humides. SO₂ et NO_x se transforment respectivement en sulfates et en nitrates ainsi qu'en acide sulfurique et en acide nitrique selon les conditions. Le NH₃, 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 NO_x.

Les retombées d'azote issues des émissions de NO_x et NH₃ conduisent à 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 bien connu 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, 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 SO₂ et de l'ozone) ; dépôts acides secs ou humides qui provoquent un lessivage des éléments nutritifs des sols ; action directe de SO₂ ou NO_x 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 varient 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 SO₂, NO_x, COV, PM et NH₃ (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 2284/2016, 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 1 et 2 suivantes (Maas 2016).

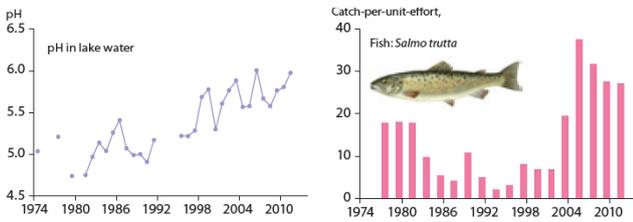


Figure 1 : Récupération de l'acidification au lac Saudlandsvatn, en Norvège. Les dépôts de soufre ayant diminué, le pH de l'eau du lac a augmenté et les populations d'une espèce sensible ont commencé à se reconstituer (CLRTAP 2016)

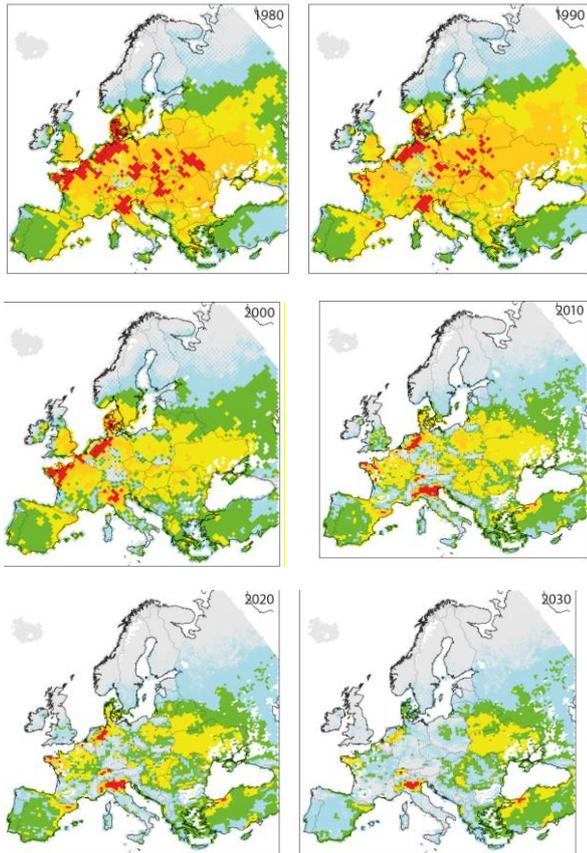


Figure 2 : Dépassement moyen cumulé des charges critiques calculées pour l'eutrophisation de 1980 à 2020 en vertu du Protocole de Göteborg amendé de 2012 (scénario GP-CLE) et en 2030 sous un scénario de réduction maximale réalisable (MAAS 2016).

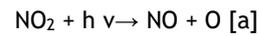
Pollution photochimique

La pollution photochimique (ou pollution photoxydante) est un ensemble de phénomènes complexes conduisant à la formation d'ozone (O₃) et d'autres composés oxydants (tels que peroxyde d'hydrogène, aldéhydes, peroxy acétyl nitrate (PAN)) à partir de polluants primaires (appelés précurseurs) : oxydes d'azote (NO_x), composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), monoxyde de carbone (CO) et méthane (CH₄), 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 troposphère (0 à 8-10 km d'altitude). La durée de vie de

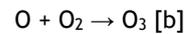
l'ozone dans la troposphère est de quelques semaines mais cette durée de vie est plus courte au niveau de la couche limite (partie de l'atmosphère sensible à la présence de la surface terrestre (continentale ou océanique)). Son épaisseur varie de quelques centaines de m (la nuit) à 2 à 3 km (le jour)).

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 NO₂ et des COV, polluants primaires ou précurseurs.

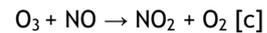
Le NO₂ est dissocié sous l'action du rayonnement UV, à des longueurs d'ondes λ < 430 nm :



L'oxygène atomique ainsi créé réagit avec l'oxygène moléculaire pour former l'ozone, molécule constituée de 3 atomes d'oxygène :

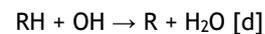


L'ozone réagit avec le monoxyde d'azote pour redonner NO₂ :

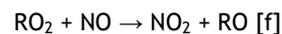
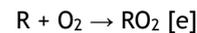


Le NO est qualifié de « puits d'ozone » puisqu'il contribue à limiter la concentration d'ozone en le consommant. Les concentrations d'ozone dépendent du rapport entre concentrations de NO₂ et concentrations de NO. Sans présence de COV, l'ozone est peu abondant.

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 NO₂ 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 production de NO₂ 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 est une représentation simplifiée d'un COV, R représentant une molécule organique associée à l'hydrogène)



Ces réactions génèrent de nombreuses espèces organiques gazeuses et notamment des composés organiques nitrés tel que le peroxyacétylnitrate (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 NOx et COVNM. Les niveaux de concentrations observés lors des épisodes de fortes concentrations en ozone ont par contre, diminué sous l'impact de ces réductions. Cette évolution est présentée en figure 3.

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 CH₄ à grande échelle (Amann, 2018), (Maas, 2016), la seule réduction des émissions des précurseurs à l'échelle nationale ou locale ne suffit pas.

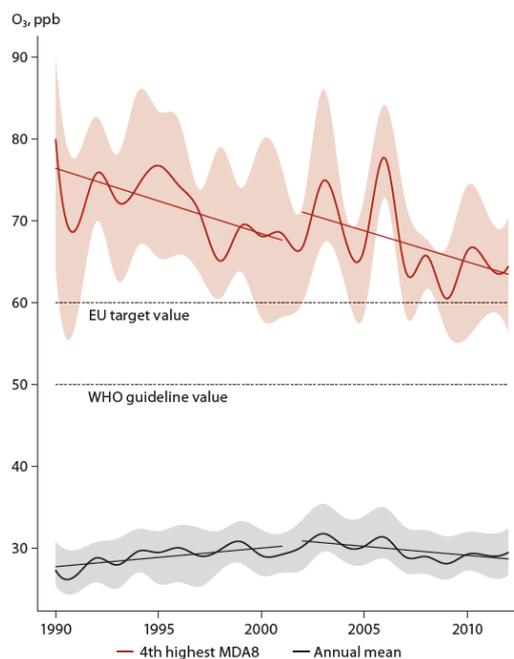


Figure 3 : évolution des pics de concentration d'ozone (4ème plus haut niveau quotidien des concentrations moyennes sur 8 heures) et les concentrations moyennes annuelles sur les 54 stations de surveillance EMEP avec une couverture de données satisfaisante. Les lignes indiquent la médiane et les zones ombrées les 25 et 75 percentiles. Les lignes de tendance sont indicatives pour les périodes 1990-2002 et 2002-2012 (Maas 2016).

Le 1^{er} 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 1885 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 1754 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'O₃ (120 µg/m³) plus de 25 fois. Au total, 9 % de toutes les stations mesurant l'O₃ 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 par 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 des 484 stations de fond rurales signalées avaient relevé des valeurs inférieures à la valeur-guide à court terme de l'OMS pour l'O₃ (100 µg/m³), fixée pour la protection de la santé humaine.

Le bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2020 a été publié par le MTE en octobre 2021. Le bilan du respect des valeurs limites est donné ainsi que les principales tendances sur la période 2000-2020.

Contrairement aux autres polluants, les teneurs moyennes en ozone (O₃) suivent une tendance à la hausse sur l'ensemble de la période avec des niveaux particulièrement élevés en 2003 et de 2018 à 2020, années marquées par des épisodes importants de canicule.

Ozone troposphérique et effet de serre

L'ozone troposphérique est impliqué dans l'effet de serre. Il est le troisième 3^e gaz à effet de serre en termes de PRG après le CO₂ et le CH₄ selon le 5^e rapport d'évaluation du GIEC [IPCC- AR5-2014]. Son forçage radiatif est de 0,40 W.m² [IPCC- AR5-2014]. 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 NO_x et COVNM mais de mettre en place des actions au niveau global et de réduire notamment les émissions de CH₄ (Mass, 2016).

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, 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 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 :

$$PCOPI = \frac{\text{Evolution de la concentration d'ozone avec le COVNM } i}{\text{Evolution de la concentration d'ozone avec l'éthylène}} \times 100$$

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 avoir 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'O₃.

De façon générale en Europe, la réduction des émissions de COV 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 SO₂, NO_x, COV et NH₃ dans l'effet de serre et de mieux en mieux documentée.

Impacts 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 NO₂ 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 sécheresse 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, figure 4.

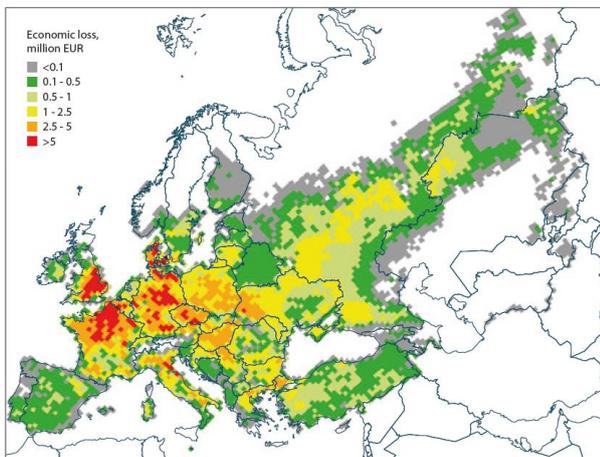


Figure 4 : pertes de rendement du blé (millions d'euros par réseau selon grille 50 à 50 km²), en utilisant une espèce de blé (Rain-fed-wheat) (valeur de production pour 2000, (www.fao.org/nr/gaez/en/), le calcul l'ozone moyen flux pour les cultures (http://emep.int/mscw/index_mscw.html), et les prix moyens du blé pour la période 2007 à 2011).

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.

L'ozone réduit également la capacité de stockage de carbone par les plantes.

Impact des SO₂, NO_x, COV et NH₃ 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 SO₂, les NO_x, 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 CO₂ 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 CH₄ (forçage négatif). Au global ils ont un forçage négatif.
- Le SO₂ a un effet refroidissant, en produisant des sulfates (forçage négatif).
- Le NH₃ présente lui aussi un forçage négatif en produisant des nitrates et des ions ammonium.

La figure 5 suivante présente les coefficients de forçage des diverses espèces chimiques (IPCC- AR5-2014). Il est à noter que l'on ne trouve pas directement l'ozone puisqu'il est émis indirectement, mais sa contribution apparaît indirectement par l'intermédiaire de ses précurseurs.

(a) Effective radiative forcing

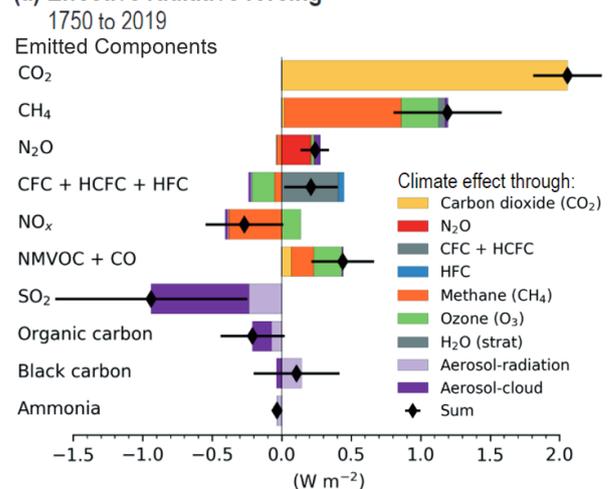


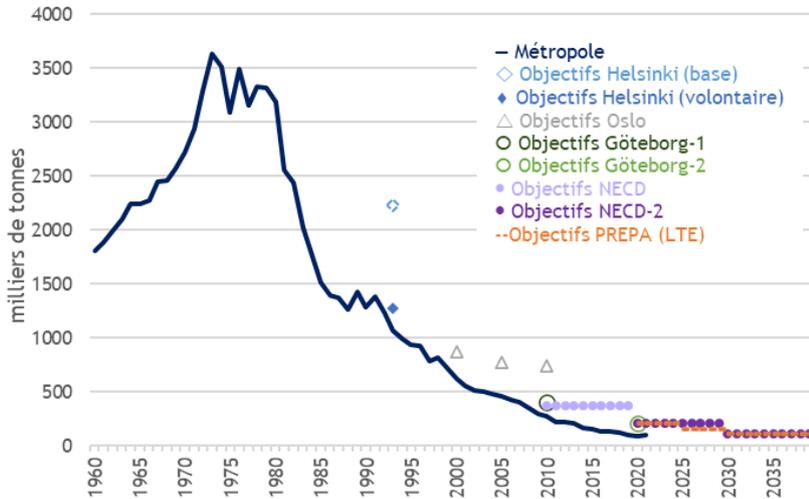
Figure 5 : Forçage radiatif des composés (IPCC- AR6-2021).

Références

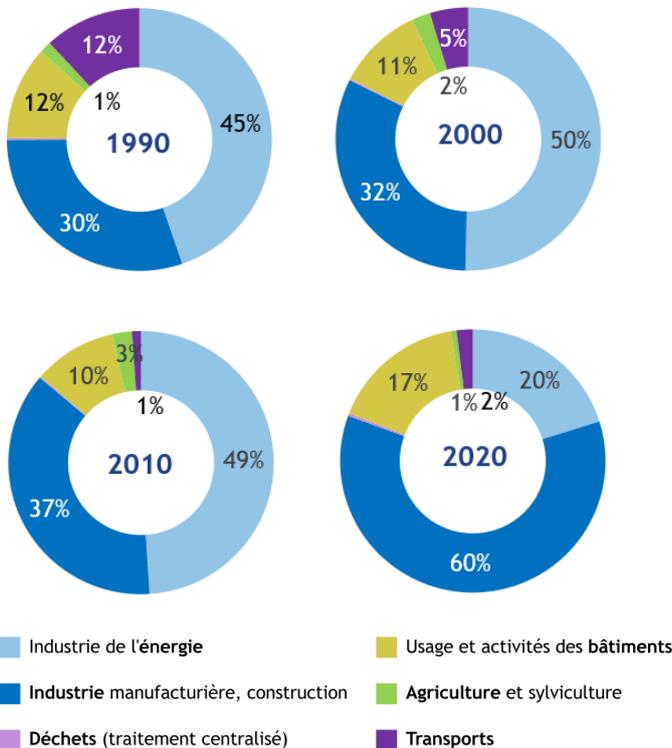
Voir en fin de chapitre.

Emissions de SO₂ en bref

Evolution des émissions de SO₂ en France



Répartition des émissions de SO₂ en France



SO₂

Dioxyde de soufre

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Le dioxyde de soufre (SO₂) est un gaz incolore, toxique avec une odeur pénétrante et fortement irritante pour les yeux et les voies respiratoires.

Le SO₂ 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 H₂SO₄, production de pâte à papier, raffinage du pétrole, etc.).

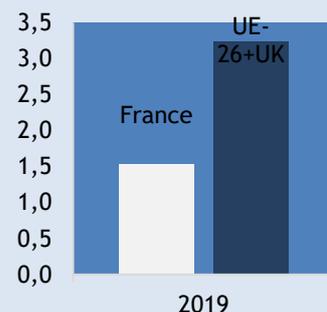
Source naturelle : volcans, solfatares.

Phénomènes associés
Le SO₂ 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.

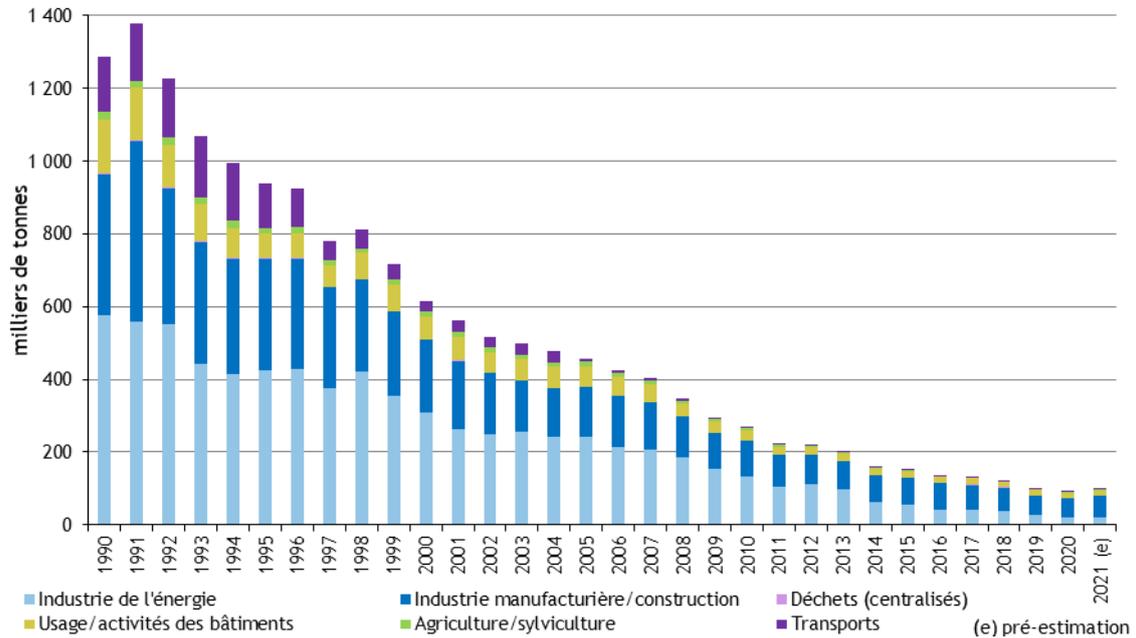
C'est un gaz à effet de serre indirect avec un effet refroidissant par sa composante sulfate.

- Effets**
- Acidification
 - Effet de serre : effet refroidissant (forçage radiatif négatif)
 - Santé

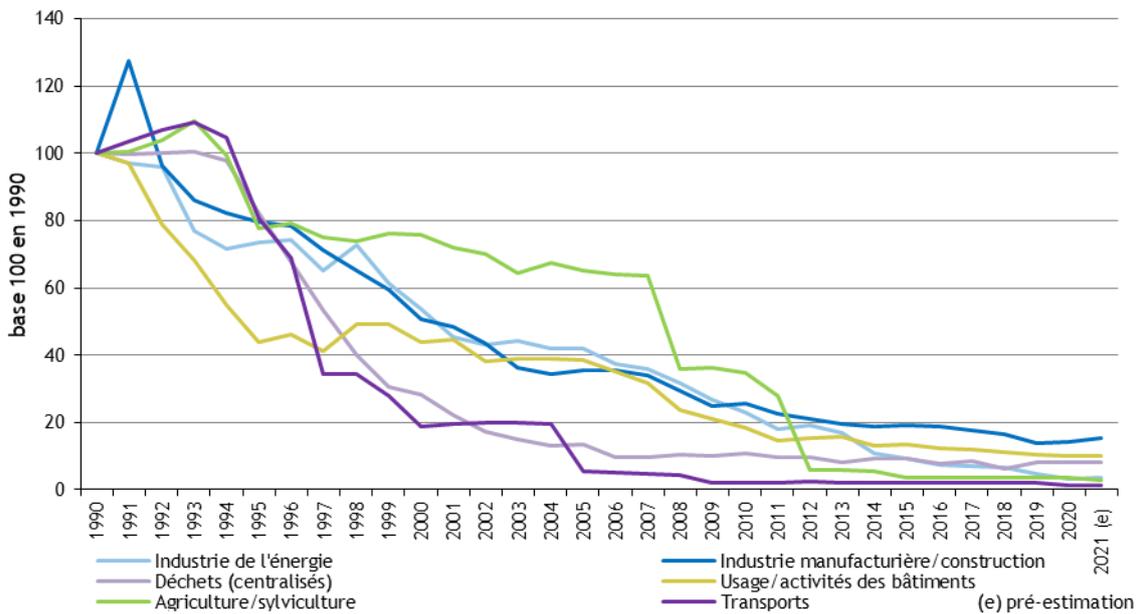
Emissions par habitant
kg/hab/an en 2019



Evolution des émissions dans l'air de SO₂ depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de SO₂ en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de SO ₂ (kt/an) Périmètre : Métropole	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
									-558	-97%	-8,5	-32%	+2,2	+12%
Industrie de l'énergie	576	310	132	27	18	21	20%	21%	-334	-97%	1,1	2%	+4,4	+8%
Industrie manufacturière et construction	388	197	100	54	55	59	60%	61%	-3	-92%	0,0	1%	+0,0	+1%
Traitement centralisé des déchets	3,4	1,0	0,4	0,3	0,3	0,3	0%	0%	-133	-90%	-0,5	-3%	+0,1	+1%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	147,9	64,8	27,4	15,4	14,9	15,1	16%	15%	-18	-96%	0,0	-2%	-0,1	-17%
Agriculture / sylviculture	18,4	14,0	6,4	0,7	0,6	0,5	1%	1%	-151	-99%	-1,1	-38%	+0,1	+7%
Transports	152,6	28,8	3,0	2,9	1,8	1,9	2%	2%						
Transport hors total	147,2	151,6	92,4	94,1	11,4	11,6								
TOTAL national	1 287	616	269	100	91	98	100%	100%	-1196	-93%	-9,0	-9%	+6,8	+7%

Analyse

Enjeux

Effets environnementaux

Les émissions de SO₂ participent à la pollution acide. Elles entraînent des dépôts de sulfates et d'acides sulfuriques qui perturbent les écosystèmes (voir section générale « Acidification, Eutrophisation, Pollution Photochimique : de quels phénomènes s'agit-il ? »).

Objectifs de réduction

Le SO₂ est visé depuis la fin des années 1980 par différents Protocoles, Directives et plans d'actions pour sa réduction :

- **Protocole d'Helsinki de 1985** sur les SO₂ dans le cadre de la CLRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance) avec un objectif volontaire contraignant ;
- **Protocole d'Oslo de 1994** sur les SO₂ dans le cadre de la CLRTAP avec de nouveaux objectifs de réduction ;
- **Protocole de Göteborg de 1999**, multi-polluants, multi-effets, 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 (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 Protocole de Göteborg amendé fixe un engagement de réduction des émissions de SO₂ de 55% en 2020 par rapport à 2005 pour la France. Cet engagement est repris dans la directive (UE) 2016/2284, sur la réduction des émissions nationales de certains polluants (NEC-2) et ajoute des engagements de réduction après 2020, notamment une réduction de 77% en 2030.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 14,2%.

A noter

Les émissions de SO₂ hors du total national restent importantes et sont principalement dues au secteur maritime international. L'annexe VI révisée de la convention MARPOL a imposé au 1^{er} janvier 2020 une teneur en soufre maximale pour les combustibles utilisés dans le secteur maritime à 0,5% (contre 3,5% avant cette date) ce qui a contribué à diminuer considérablement les émissions de ce secteur. Elles ont diminué de 90% entre 2019 et 2020.

Tendance générale

Depuis 1990, la baisse des émissions de SO₂ 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 ;
- les progrès réalisés par les industriels par l'usage 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.

Cette tendance de fond, orientée à la baisse, devrait perdurer au cours des prochaines années grâce à la poursuite de la mise en œuvre de réglementations visant à sévérer 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) ainsi que les valeurs limites d'émission des autres installations de combustion, notamment entre 1 MW et 50 MW dans le cadre des arrêtés français sur la combustion.

Il est important de souligner que malgré cette tendance générale à la baisse, certaines années voient leurs émissions de SO₂ 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 SO₂ 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.

Évolution récente

Pour la plupart des secteurs, l'évolution des émissions de SO₂ 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).

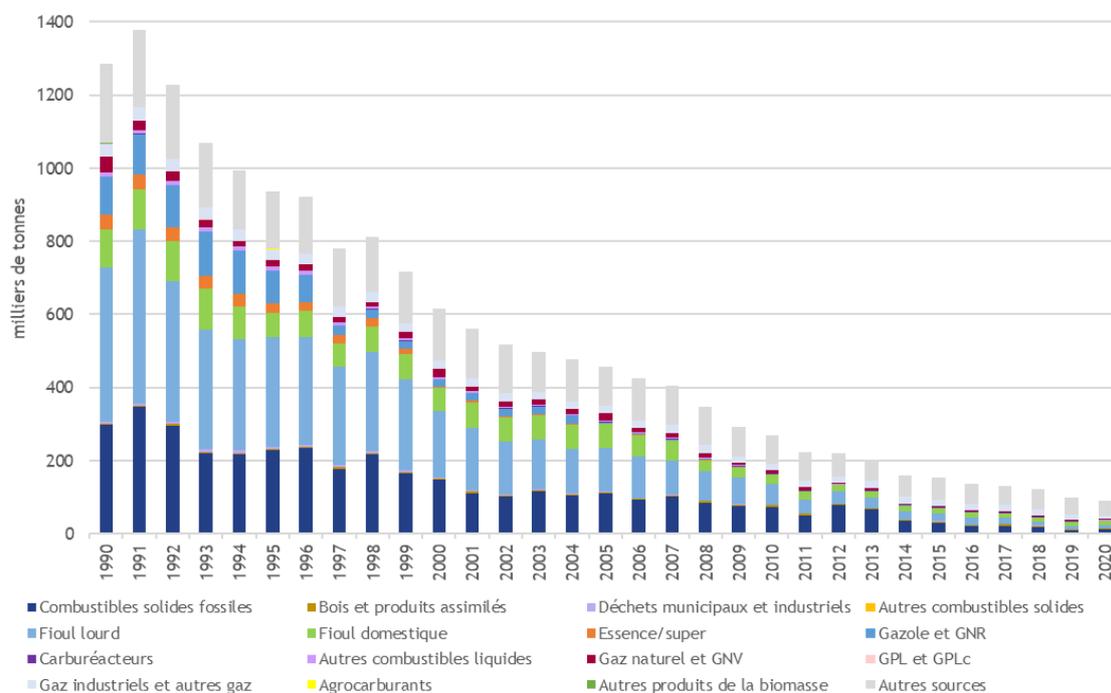
La crise sanitaire et les périodes de confinements en 2020 ont peu affecté le niveau des émissions de SO₂.

Les objectifs de réduction fixés par le Protocole de Göteborg amendé et la Directive NEC-2 sont **déjà atteints** ces dernières années puisque les émissions françaises sont passées en dessous du seuil de -55%/2005 en 2013 et -77%/2005 en 2020.

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions de SO₂ sont davantage issues de procédés énergétiques (liées à des combustibles) et évoluent entre 83% des émissions totales en 1990 et 56% en 2020. Depuis 1990, le dioxyde de soufre est principalement émis par les CMS ainsi que par les fiouls lourds et domestiques dont les émissions ont diminué de 96% entre 1990 et 2020.

Répartition des émissions de SO₂ par combustible en France (Métropole)

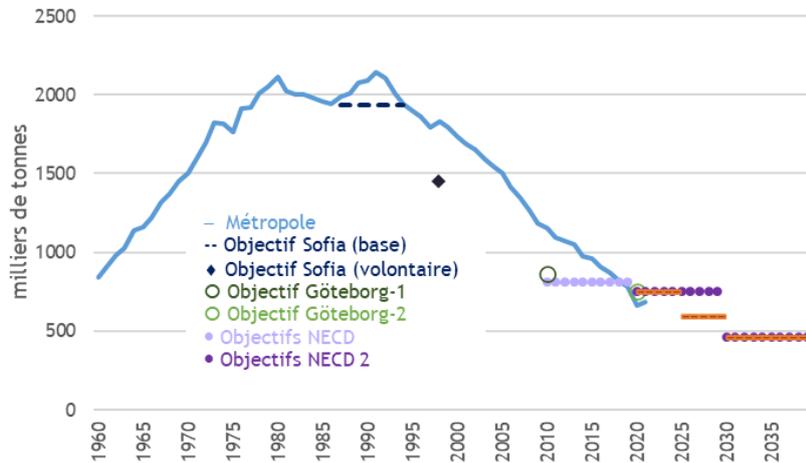


Et ailleurs ?

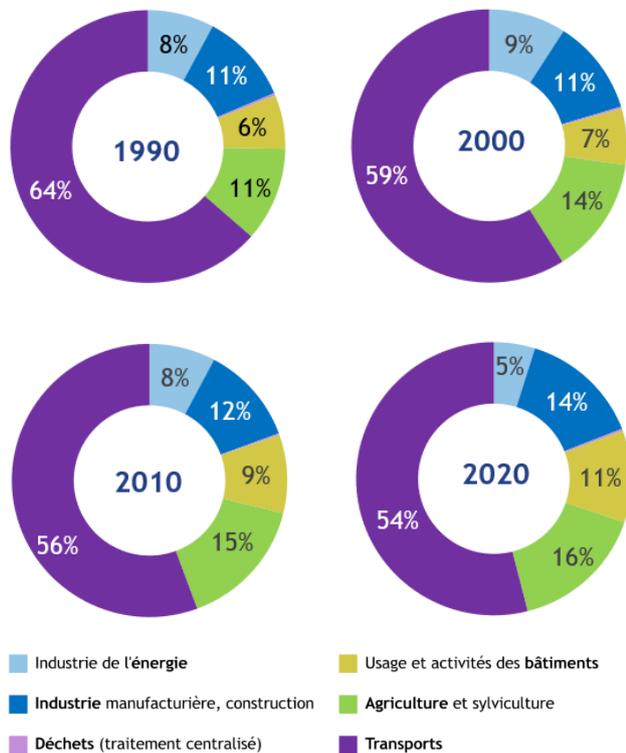
A titre de comparaison, les émissions de SO₂ en France sont estimées en 2019 à 1,5 g par habitant et par an contre 3,2 g dans l'Union Européenne (UE-26+UK+Islande) en moyenne (table CRF UE éd. 2021).

Emissions de NO_x en bref

Evolution des émissions de NO_x en France



Répartition des émissions de NO_x en France



NO_x

Oxydes d'azote

Type

Polluant atmosphérique

Définition

Les oxydes d'azote comprennent le NO₂ (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 NO_x 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)

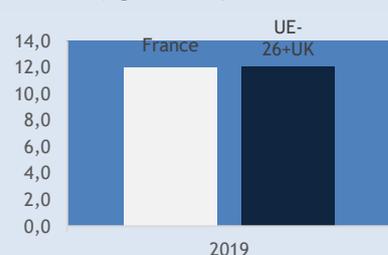
☠ Précurseur d'ozone

☠ Acidification

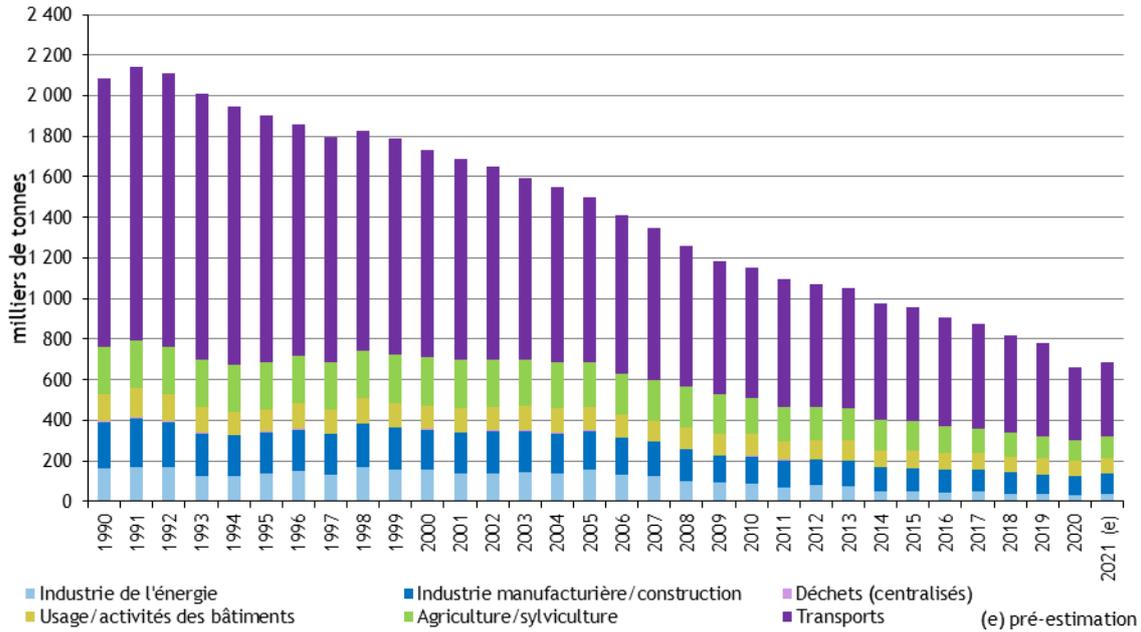
☠ Eutrophisation

☠ Santé (pour le NO₂)

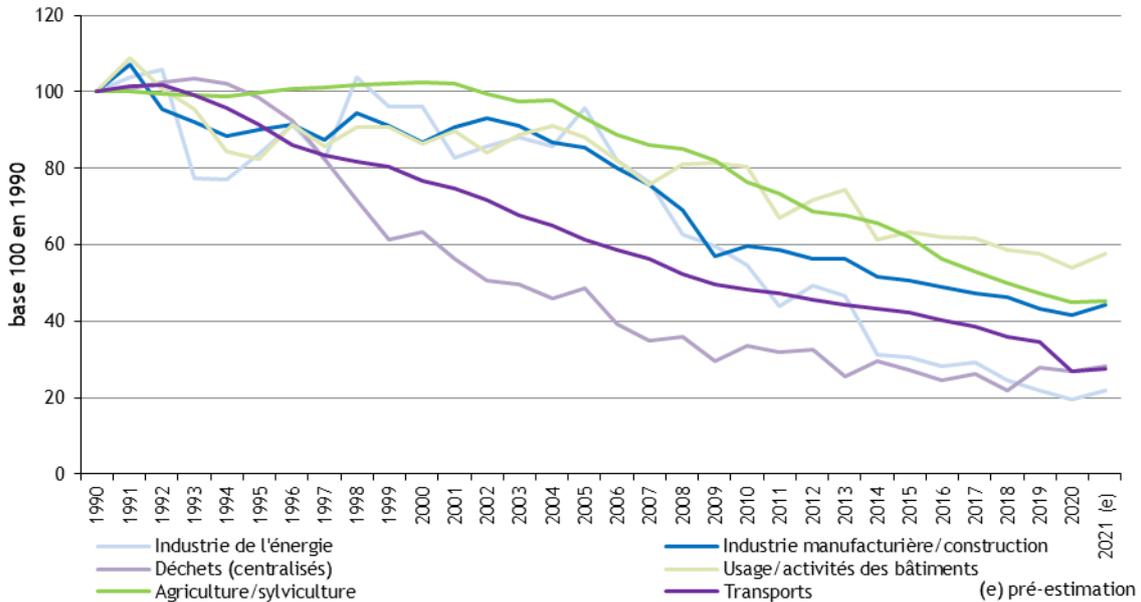
Emissions par habitant (kg/hab/an) en 2019



Evolution des émissions dans l'air de NO_x depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de NO_x en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de NO _x (kt/an) Périmètre : Métropole	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF)		1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
							en 2020	en 2021						
Industrie de l'énergie	163,2	157,1	89,2	35,7	31,8	35,5	5%	5%	-131,4	-81%	-3,8	-11%	+3,6	+11%
Industrie manufacturière et construction	224,7	195,0	133,8	97,0	93,8	99,7	14%	15%	-131,0	-58%	-3,2	-3%	+6,0	+6%
Traitement centralisé des déchets	6,0	3,8	2,0	1,7	1,6	1,7	0%	0%	-4,4	-73%	-0,1	-3%	+0,1	+4%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	133,5	115,1	107,1	76,7	72,0	77,1	11%	11%	-61,5	-46%	-4,7	-6%	+5,1	+7%
Agriculture / sylviculture	233,5	239,6	178,0	110,4	104,7	105,5	16%	15%	-128,8	-55%	-5,7	-5%	+0,8	+1%
Transports	1 327	1 020	639	457	356	366	54%	53%	-970,7	-73%	-101,5	-22%	+10,3	+3%
Transport hors total	244,6	308,2	281,5	240,4	122,5	126,3								
TOTAL national	2 088	1 730	1 150	779	660	686	100%	100%	-1428	-68%	-119	-15%	+26	+4%

Analyse

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 CH₄ (forçage négatif).

Les NO_x sont nocifs pour la santé humaine, particulièrement le NO₂ 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 NO_x 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 NO_x 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).

Dépassement des normes de concentrations

Malgré une diminution générale des émissions de NO_x, localement, les concentrations de NO₂ 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 persistant" des valeurs limites de concentration (VLC) pour le dioxyde d'azote (NO₂).

A noter

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 NO_x 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 NO_x 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 se comparer les émissions 2010 et 2020 sur la base des anciennes méthodes d'estimation pour le transport, et hors NO_x biotiques de l'agriculture.

Tendance générale

Depuis 1966, le principal secteur émetteur de NO_x 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 NO_x pour les véhicules neufs mis en service. Cette baisse est principalement liée au renouvellement du parc de véhicules, à l'équipement progressif des véhicules en pots catalytiques et au développement d'autres technologies de réduction. Ainsi, les progrès réalisés au sein du secteur parviennent à contrebalancer l'intensification du trafic. 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 d'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 »).

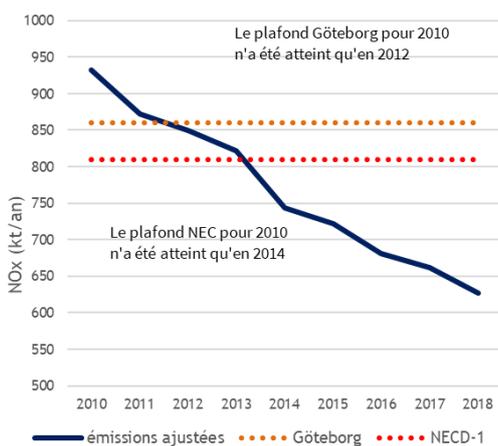
Évolution récente

Si la tendance générale des émissions de NO_x 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 de NO_x. La tendance à la baisse des émissions de NO_x dans le secteur des transports devrait se poursuivre au cours des prochaines années grâce à la mise en œuvre de normes de plus en plus strictes concernant les rejets de polluants.

Le Protocole de Göteborg amendé, ainsi que la directive NEC-2, fixent un engagement de réduction des émissions de NO_x de 50% en 2020 par rapport à 2005, c'est-à-dire un plafond calculé de 750 kt. (*voir chapitre Politique et Réglementation*). En 2020, les émissions totales nationales de NO_x se sont élevées à 660 kt (contre 779 kt en 2019), respectant ainsi ce plafond. Les émissions ont diminué de 15% en 2020 par rapport à 2019, notamment du fait du transport routier (-23%), impacté par les restrictions de circulation engendrées par la crise sanitaire liée au Covid-19.

Procédure d'ajustement pour la comparaison des émissions aux objectifs

Pour les NO_x, il y a lieu d'observer que l'objectif de réduction de 30 % entre 1980 et 1998 (Protocole de Sofia) n'a été atteint qu'en 2006. De même, pour les plafonds 2010 sur les NO_x (Protocole de Göteborg et directive NEC), ces derniers n'ont pas été respectés en 2010 mais atteints avec un décalage de quelques années. En effet le plafond fixé pour la France dans le cadre du Protocole de Göteborg est un total d'émissions de 860 Gg de NO_x à atteindre en 2010, or les émissions imputables à la France, jusqu'en 2017, dépassaient ce plafond. Ces plafonds ayant été fixés en valeur absolue, il est par conséquent nécessaire de tenir compte de la différence de méthode d'estimation entre le moment où ce plafond a été fixé et l'estimation d'aujourd'hui. Les difficultés rencontrées pour l'atteinte des objectifs NO_x sont notamment liées à des modifications méthodologiques dans les inventaires. Dans le cadre du Protocole de Göteborg, en cas de dépassement des plafonds, la décision 2012/12 ECE/EB.AIR/113/Add.1 prévoit une procédure permettant de procéder à des ajustements des inventaires d'émissions nationaux afin de les rendre comparables avec les plafonds initiaux.



La France applique cette procédure d'ajustement qui permet d'évaluer le respect ou non des plafonds dans des conditions comparables, en faisant abstraction des améliorations méthodologiques des inventaires des émissions qui empêchent d'atteindre les objectifs de réduction (sachant que les objectifs de réduction d'émissions ne sont pas révisés en fonction de l'avancée des connaissances scientifiques et techniques à la différence des inventaires). En prenant en compte cette procédure d'ajustement, le plafond du Protocole de Göteborg n'est atteint qu'en 2012 et celui de la NEC qu'en 2014. En 2018, les émissions sans ajustements (816 kt) respectent le plafond du protocole de Göteborg. C'est aussi le cas en 2019 pour le plafond NEC, avec 776 kt émis. Les procédures d'ajustement ne sont donc plus requises à partir de ces dates.

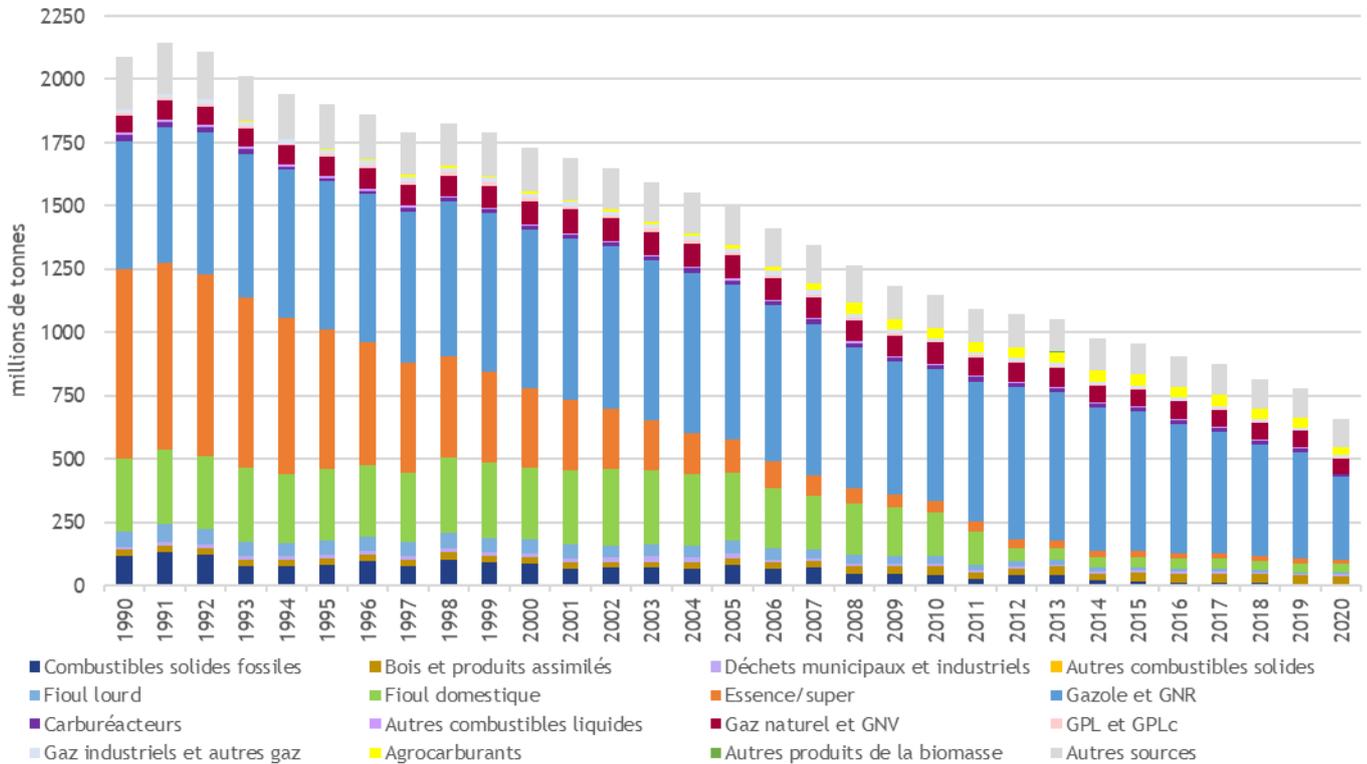
La procédure d'ajustement a porté sur le secteur du transport routier. Les plafonds d'émissions de NO_x ont été déterminés sur la base du modèle d'émissions COPERT II alors que l'inventaire actuel utilise une version plus récente du modèle COPERT qui a fortement révisé à la hausse les facteurs d'émission NO_x. L'ajustement porte également sur les émissions de NO_x 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, qui n'étaient pas estimées au moment de la fixation des objectifs.

Part des émissions liée aux combustibles

Depuis 2011 en France, les émissions de NO_x sont majoritairement issues de la combustion du gazole (sans y inclure la part du biogazole). La contribution de ce combustible au total national a augmenté ainsi jusqu'à atteindre 58 % en 2014,

pour repartir ensuite à la baisse. Cela s'explique en partie par l'activité du transport routier, avec un parc de véhicules massivement diésélisé.

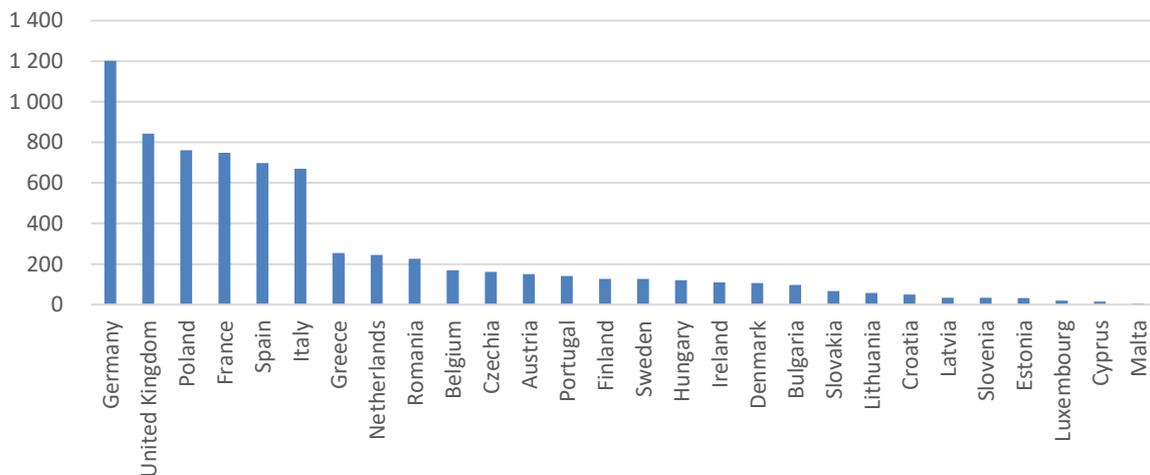
Répartition des émissions de NOx par combustible en France (Métropole)



Et ailleurs ?

L'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) permet de visualiser l'ensemble des données d'émissions des pays de l'UE sur la pollution atmosphérique. Ci-dessous les données d'émission de NOx des pays concernés pour l'année 2018 présentées sur le site de l'AEE :

Total NOx (Gg) - 2018



A noter : ces émissions correspondent aux inventaires édition 2020. Ces estimations ont été mises à jour en 2021, mais les données ne sont pas encore disponibles sur l'interface.

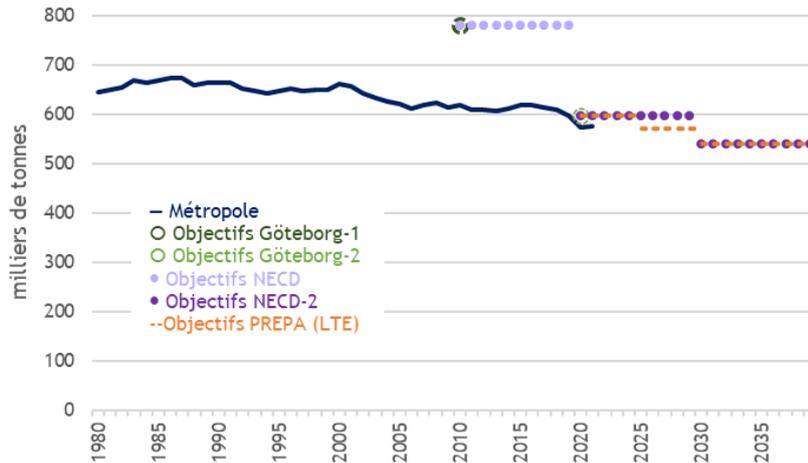
Les émissions totales de NOx dans l'UE-28 sont passées de 18 049 kt en 1990 à 7 272 kt NOx en 2018 : elles ont baissé de 60% (contre 62% en France).

Acidification, eutrophisation et pollution photochimique

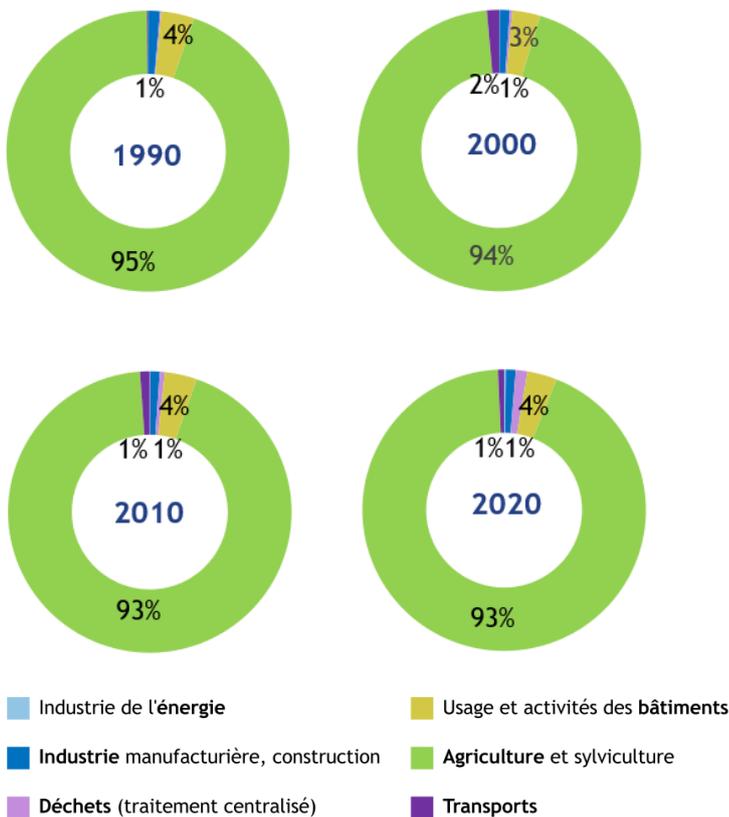
En Chine, d'après les estimations de Zhao et al. (2013), les émissions de NO_x ont fortement augmenté jusqu'en 2010, passant de 11 Mt en 1995 à 26,1 Mt en 2010. Cependant, depuis 2010, les mesures de contrôle des émissions de NO_x et la mise en œuvre, dès 2013, du plan quinquennal « Clean Air Action » a permis une réduction de la majorité des émissions de polluants. Les émissions de NO_x ont ainsi baissé de -17 % entre 2010 et 2017. Cette diminution a été notamment permise par la dénitrification des fumées dans les centrales thermiques par réduction catalytique sélective et l'arrêt de petites chaudières industrielles. (Zheng, B. et al., 2018).

Émissions de NH₃ en bref

Évolution des émissions de NH₃ en France



Répartition des émissions de NH₃ en France



NH₃

Ammoniac

Type
Polluant atmosphérique

Définition
L'ammoniac (NH₃) 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 N₂ et de H₂. 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.

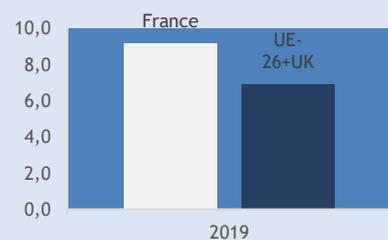
Origine
Sources anthropiques : agriculture (effluents d'élevage, engrais azotés minéraux) ; voitures équipées d'un catalyseur, usage d'ammoniac et urée dans les procédés de dénitrification, quelques procédés industriels.

Source naturelle : décomposition de matières organiques par des microorganismes dans le sol.

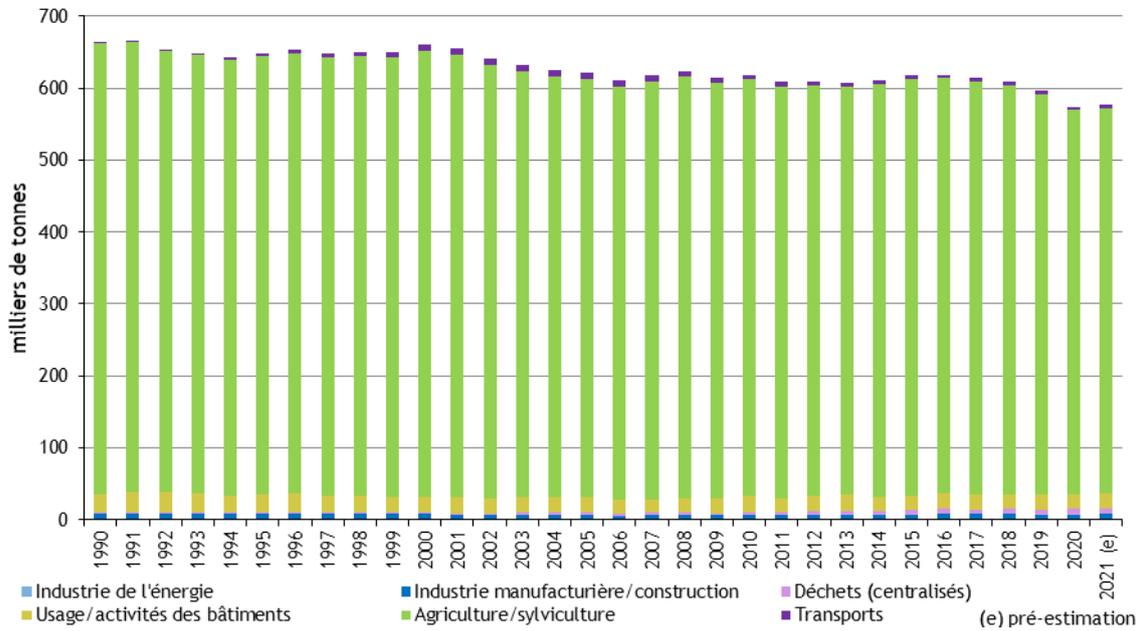
Phénomènes associés
L'ammoniac est un précurseur de particules secondaires : il réagit avec les composés acides tels que les oxydes d'azote ou de soufre (émis par d'autres secteurs d'activité anthropiques) pour former par nucléation des particules très fines (PM_{2,5}) de nitrate ou de sulfate d'ammonium. 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

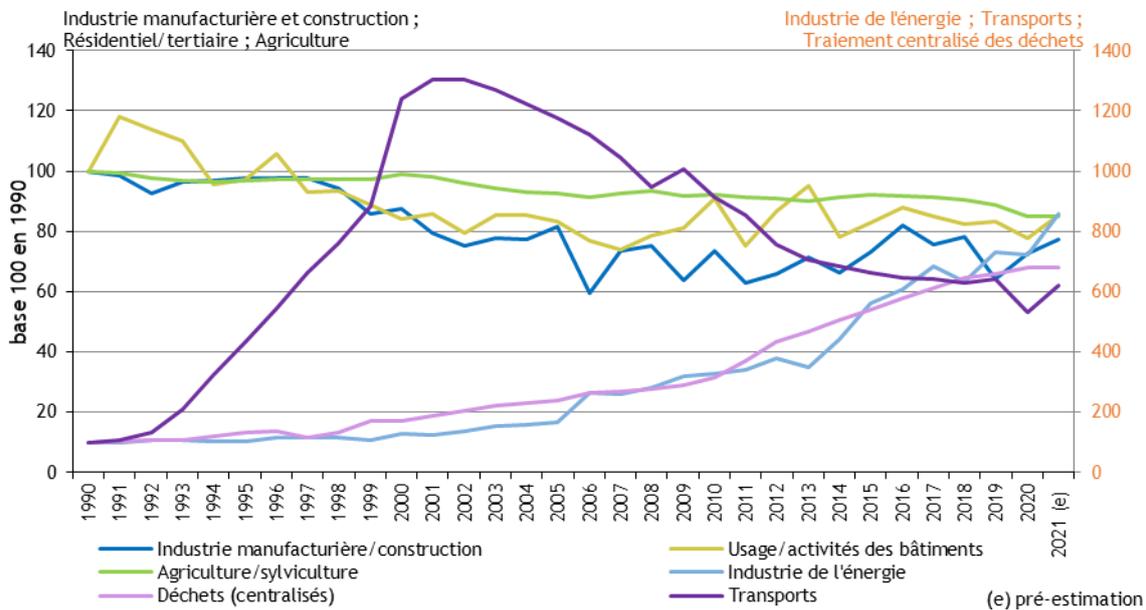
Émissions par habitant
kg/hab/an en 2019.



Evolution des émissions dans l'air de NH₃ depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de NH₃ en base 100 en 1990 en France (Métropole)



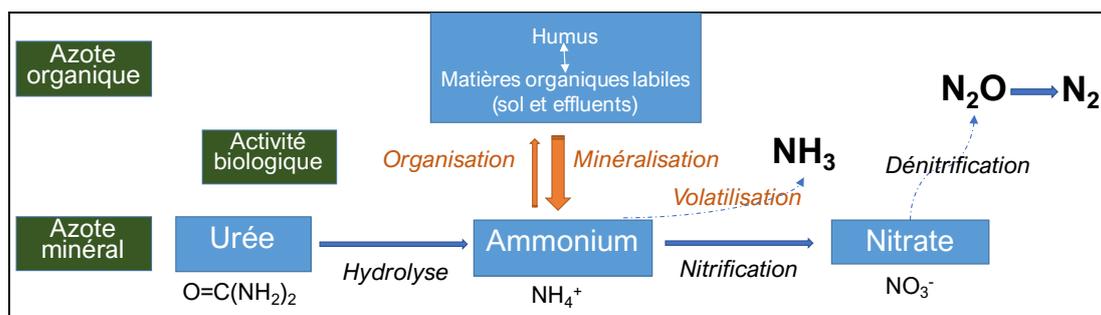
Emissions de NH ₃ (kt/an) Périmètre : Métropole	1980	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
Industrie de l'énergie	0,1	0,2	0,2	0,5	1,1	1,1	1,3	0%	0%	0,9	+621%	0,0	-1%	+0,2	+19%
Industrie manufacturière et construction	9,0	8,9	7,7	6,5	5,7	6,4	6,9	1%	1%	-2,4	-27%	0,8	+13%	+0,4	+7%
Traitement centralisé des déchets	0,9	1,1	1,9	3,5	7,4	7,6	7,6	1%	1%	6,5	+579%	0,2	+3%	-0,0	-0%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	22,2	24,9	20,9	22,7	20,8	19,4	21,3	3%	4%	-5,6	-22%	-1,4	-7%	+2,0	+10%
Agriculture / sylviculture	611,3	628,0	620,9	578,5	556,2	534,5	534,6	93%	93%	-93,5	-15%	-21,7	-4%	+0,1	+0%
Transports	0,6	0,7	9,2	6,8	4,8	4,0	4,6	1%	1%	3,2	+432%	-0,8	-17%	+0,7	+17%
Transport hors total	0	0	0	0	0	0	0								
TOTAL national	644,0	663,8	660,9	618,5	595,9	573,0	576,3	100%	100%	-90,8	-14%	-22,9	-4%	+3	+1%

Analyse

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 (NH₃) issu de l'ion ammonium (NH₄⁺), 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 (NH₄⁺).

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, entraînant 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.

Enjeux environnementaux et sanitaires

Le NH₃ 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 NH₃ 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 NH₃ 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 NH₃ émis par les activités agricoles et d'oxyde d'azote émis notamment par le transport routier.

En début d'année 2020, le NH₃ 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 NH₃ sont responsables de près de la moitié des répercussions de la pollution de l'air sur la santé, étant donné que le NH₃ 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.

Réglementations 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 NH₃ ou des plafonds d'émissions à ne pas dépasser.

Le premier objectif de réduction des émissions de NH₃ a été fixé par le protocole de Göteborg pour l'année 2010. Ce plafond, fixé à 780 kt NH₃, 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 NH₃ de 4 % en 2020 par rapport à 2005, c'est-à-dire un plafond calculé de 596 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 NH₃ à horizon 2030, fixé à 13 % par rapport à 2005 pour la France (soit un plafond calculé de 540 kt).

Enfin cet objectif a été inclus au niveau national dans le Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PRÉPA) adopté par le gouvernement français en 2017. Un objectif intermédiaire a été ajouté dans le PRÉPA pour 2025, correspondant à un plafond de 571 kt NH₃.

International	PROTOCOLE DE GÖTEBORG (1999, amendé en 2012, non encore ratifié) Réduction en 2020 par rapport à 2005 de - 4% pour le NH ₃ et - 27% pour les PM _{2,5}	
Union européenne	DIRECTIVE UE 2016/2284 REVISANT LA DIRECTIVE NEC* Réduction en 2020 par rapport à 2005 de - 4% pour le NH ₃ et - 27% pour les PM _{2,5} Réduction en 2030 par rapport à 2005 de -13% pour le NH ₃ et - 57% pour les PM _{2,5}	DIRECTIVE 2010/75/UE DITE DIRECTIVE IED Mise en place de meilleures techniques disponibles (MTD) d'ici 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).
National	PLAN NATIONAL DE REDUCTION DES EMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES (PREPA, 2017) Réduction en 2020 par rapport à 2005 de - 4% pour le NH ₃ et - 27% pour les PM _{2,5} Réduction en 2030 par rapport à 2005 de -13% pour le NH ₃ et - 57% pour les PM _{2,5} Les mesures détaillées sont décrites dans l' Arrêté du 10 mai 2017 .	ARRETE DU 31 JANVIER 2008 Déclaration des émissions de NH ₃ lorsqu'elles sont supérieures à 10000 kg/an pour les installations classées soumises à autorisation ou enregistrement, à l'exclusion des élevages, sauf les installations relevant de la rubrique 3660.
Régional ou infrarégional	SCHEMAS REGIONAUX CLIMAT AIR ENERGIE (SRCAE, 2013) Désormais intégrés au sein des Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), ils donnent des orientations régionales pour le climat, la qualité de l'air et l'énergie à horizon 2020 et 2050 destinées à prévenir ou à réduire la pollution atmosphérique afin de respecter les objectifs de qualité de l'air.	PLANS DE PROTECTION DE L'ATMOSPHERE (PPA, 2014) 38 plans d'actions visant la réduction des émissions de polluants atmosphériques. Applicables aux agglomérations de plus de 250000 habitants et aux zones en dépassements de normes de qualité de l'air ou qui risquent de l'être.

*National Emission Ceilings

Figure 1. Réglementations visant le NH₃ à différentes échelles

En 2020, les émissions nationales de NH₃ sont estimées, hors UTCATF, à 573 kt, l'objectif à atteindre (- 4 % en 2020 par rapport à 2005, soit 596 kt) est donc respecté.

En revanche, des réductions supplémentaires seront nécessaires pour atteindre l'objectif 2030 (540 kt) : il faudra une baisse de 33 kt entre 2020 et 2030, représentant une baisse de 6 % entre ces deux années (soit 0,6 % / an). En raison de mauvaises conditions de cultures, la fertilisation minérale s'est repliée en 2020 impliquant un repli des émissions estimées de NH₃. En 2021, le contexte est plus incertain avec d'un côté des surfaces en céréales récoltées en reprise et donc des besoins en fertilisation minérale qui ont retrouvé des niveaux plus proches de 2019 et de l'autre une flambée du prix des engrais qui a conduit à des reports d'achat. Aussi, les émissions de NH₃ devraient se replier par rapport à 2019 mais être en reprise par rapport à 2020. Si l'on considère la tendance de fond constatée ces dernières années, les émissions de NH₃ se sont repliées à un rythme annuel moyen de 0,4 % / an entre 2010 et 2019, aussi l'atteinte des objectifs pour 2030 (- 0,6 % par an au départ d'une année basse) correspond à un renforcement des efforts de réduction.

Pour rappel, le principal secteur émetteur de NH₃ est le secteur agricole, représentant 93 % des émissions en 2020. Pour réussir à réduire ces émissions, différentes pistes sont 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). 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.

Le 23 septembre 2020, la Cour des Comptes a publié les résultats de son enquête sur les politiques de lutte contre la pollution de l'air, qui relève que les plafonds 2030 risquent de ne pas être atteints pour trois des cinq polluants visés (NH₃, SO₂, PM_{2,5}). Selon la Cour des Comptes, la mise en œuvre du PRÉPA demeure insuffisante, plusieurs mesures ambitieuses ayant d'ores et déjà été abandonnées ou retardées (notamment concernant les pratiques agricoles). Le rapport souligne que le renouvellement du PRÉPA, à compter de 2022, devra être l'occasion de dépasser ces limites actuelles. Pour le secteur agricole, la Cour des Comptes indique que bien que des solutions existent et sont mises en œuvre depuis de nombreuses années dans plusieurs pays européens, la prise de conscience de l'enjeu lié au NH₃ (élevage et fertilisation minérale des cultures) a été trop tardive en France et que peu de mesures contraignantes sont actuellement mises en œuvre.

Le 31 mars 2021, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA) a annoncé l'adoption, en janvier 2021, d'un plan d'actions ministériel visant à supprimer l'utilisation des matériels les plus émissifs en 2025 (dit **plan matériels d'épandage moins émissifs** ou PMEE). Ce nouveau plan vise tout particulièrement à réduire les émissions d'ammoniac (NH₃) du secteur de l'agriculture. Ce plan inclut :

- un diagnostic, dressant un état des lieux du parc matériels d'épandage des effluents et des pratiques associées existant dans les différentes régions françaises et identifiant les matériels agricoles et les pratiques associées réduisant le plus les émissions de NH₃ ;
- une analyse Atouts - Faiblesses - Opportunités - Menaces et une analyse des besoins sur la base du diagnostic ;
- un plan d'actions pour répondre aux besoins identifiés, sous forme de 10 fiches-actions, couvrant quatre axes de travail (recherche et développement, formation ; volet financier ; volet réglementaire ; amélioration des inventaires).

À noter également la mention de l'importance de réduire les émissions de NH₃ 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 NH₃ 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.

Une gestion intégrée de l'azote

Tout comme les autres composés azotés, les enjeux liés aux émissions de NH₃ 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 (N₂), et d'autres, comme le NH₃, 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 NH₃ 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 entraînerait 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.

À noter

Sont exclues du total national les émissions liées aux feux de forêt.

Tendance générale

Globalement, les émissions de NH₃ ont diminué de 8% entre 1990 et 2006 : elles sont passées d'environ 664 kt NH₃ en 1990 à 611 kt NH₃ en 2006. Entre 2006 et 2019, les émissions se stabilisent et oscillent entre 596 kt et 623 kt. En 2020, on constate un repli marqué des émissions (- 4 %) en lien avec de faibles niveaux de récoltes.

La majeure partie des émissions de NH₃ provient du secteur de l'agriculture/sylviculture : il représente, en 2020, 93 % du total national. Au sein du secteur, en 2020, les principaux postes contribuant aux émissions sont en premier lieu l'apport d'engrais et d'amendements minéraux (26 % des émissions du secteur), suivi de la gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage (24 % des émissions du secteur), puis de l'apport d'engrais et d'amendements organiques (19 % des émissions du secteur) et des animaux à la pâture (16 % des émissions du secteur). Les émissions restantes concernent principalement la gestion des déjections des animaux hors bovins au bâtiment et au stockage.

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 gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage est le premier poste contribuant à la baisse sur la période : les émissions de NH₃ de ce poste ont diminué de 19 % entre 1990 et 2020, soit - 29,8 kt, principalement du fait d'une érosion du cheptel. Parmi les autres postes contribuant à la baisse des émissions, on retrouve la fertilisation azotée minérale, dont les émissions ont diminué de 33,2 kt entre 1990 et 2020 (dont 17,1 kt entre 2019 et 2020), soit 20 % de baisse. Pour ce poste, les variations d'émissions de NH₃ interannuelles proches (entre l'année n et l'année n+1) s'expliquent en partie par les fluctuations des livraisons d'engrais. Il est difficile de donner une règle générale mais, de manière simplifiée, les livraisons annuelles augmentent lorsque les prix des produits agricoles sont forts car les agriculteurs souhaitent maximiser leur rendement. Inversement, si les prix des produits agricoles sont bas, les agriculteurs ont plutôt tendance à limiter leurs dépenses et donc les achats de fertilisants. 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 a progressé ces dernières années, cette forme étant globalement plus émettrice que les ammonitrates par exemple, les émissions s'en trouvent impactées à la hausse.

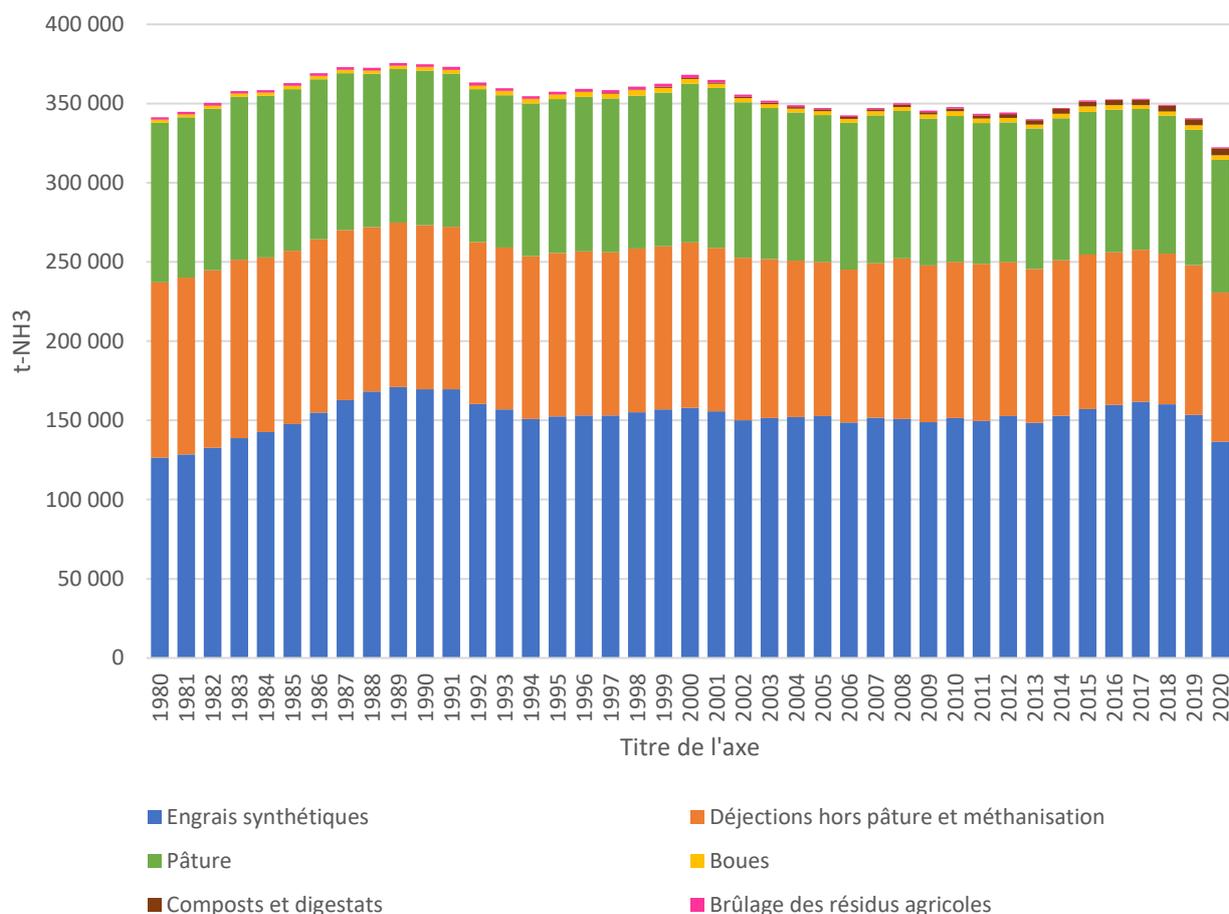


Figure 2. Émissions de NH₃ du secteur des cultures, par poste, en tonnes de NH₃

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 suite à 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.

Évolution récente

Sur ces dernières années (2006-2019), la stabilité de la trajectoire des émissions s'explique par des évolutions différenciées de plusieurs postes d'émission en agriculture. Pour l'apport d'engrais et d'amendements minéraux, les émissions ont augmenté de 0,5 % entre 2005 et 2019, tandis que la quantité totale d'azote minéral apportée a diminué de 5,6 %. L'évolution à la hausse des émissions est ici entraînée par la progression de l'urée dans le mix des engrais azotés utilisés. Cette tendance à la hausse constatée depuis 2013 semble ralentir en 2017, avec même une baisse des émissions depuis 2018. Les émissions liées à la gestion des déjections bovines au bâtiment et au stockage ont quant à elles légèrement diminué entre 2005 et 2019 (- 7 %) suivant l'évolution du cheptel bovin (- 7 % sur la même période). Enfin, les émissions liées à l'apport d'engrais et d'amendements organiques sont restées stables entre 2005 et 2019 (+ 0,1 %). Si l'on observe une baisse de l'azote épandu issu des déjections produites en France, en lien avec le recul des cheptels et le développement des stations de nitrification-dénitrification, celle-ci est en grande partie compensée par une hausse des imports de déjections en provenance des pays frontaliers à la métropole (Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Italie principalement) ainsi que des émissions de NH_3 qui y sont associées.

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 récente 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 2020 correspond au niveau le plus bas atteint sur la période, avec 573 kt NH_3 en lien avec de mauvaises récoltes cette année-là. Ce contexte incertain s'est poursuivi en 2021 avec d'un côté une reprise des surfaces et de l'autre un prix des engrais en hausse en lien avec la reprise économique post-Covid. Début 2022, la guerre en Ukraine perturbe fortement les marchés agricoles avec un prix des céréales mais également des engrais, en forte hausse.

Part des émissions liée aux combustibles

En France, les émissions de NH_3 ne sont que très peu liées aux combustibles.

Et ailleurs ?

L'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) permet de visualiser l'ensemble des données d'émissions des pays de l'UE sur la pollution atmosphérique. Ci-dessous les données d'émission de NH_3 des pays concernés pour l'année 2019 présentées sur le site de l'AEE :

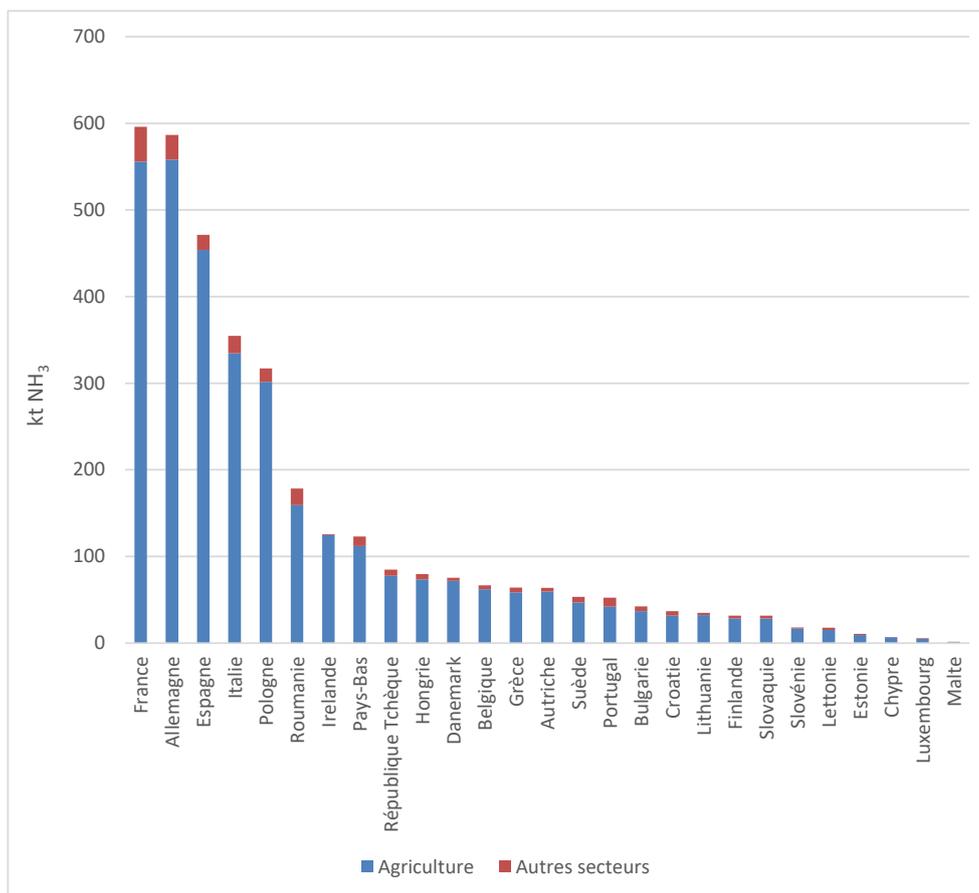


Figure 3. Émissions totales de NH₃ par pays de l'Union européenne. Source : Eurostat, Citepa pour la France

À noter : à l'exception de la France, ces émissions correspondent aux inventaires édition 2021. Ces estimations ont été mises à jour en 2022, mais les données ne sont pas encore disponibles sur l'interface.

En savoir plus

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 Ecologique 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 Ecologique 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.](#)

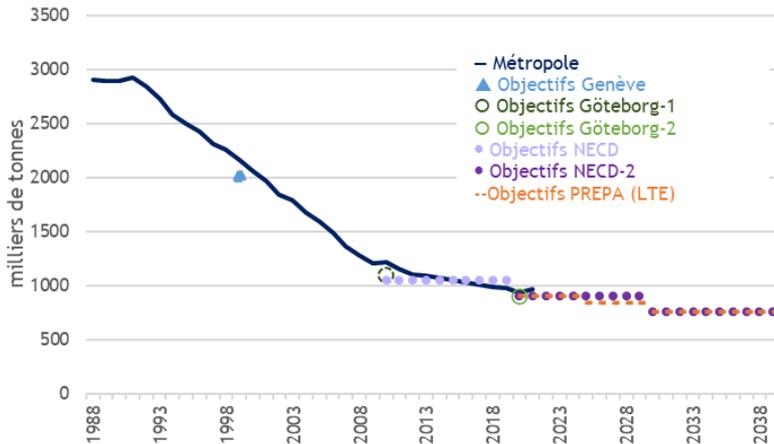
Agence Européenne pour l'Environnement - AEE (2020). National Emission Ceilings Directive emissions data viewer 1990-2019. [Lien.](#)

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.](#)

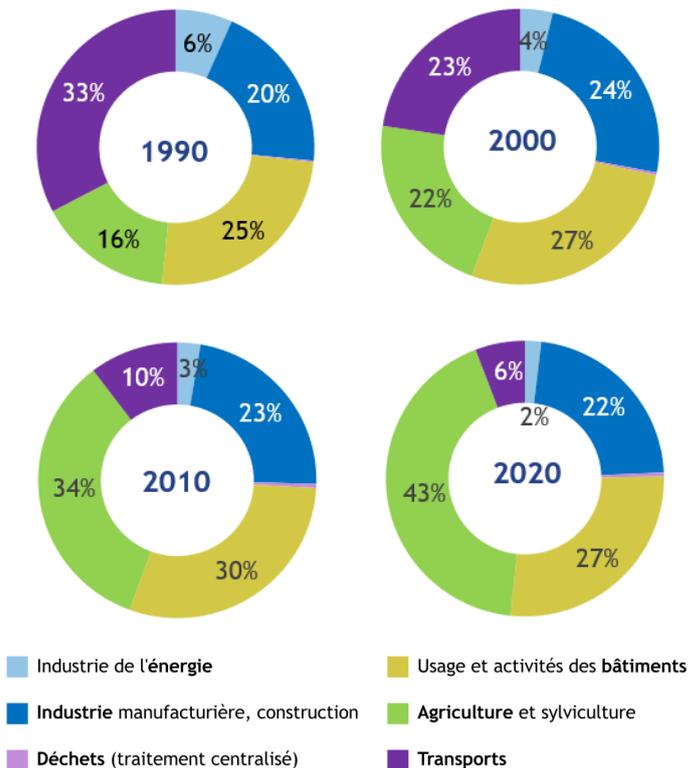
Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Plan Matériels d'Épandage Moins Émissifs (PMEE), 2021. [Lien.](#)

Émissions de COVNM en bref

Évolution des émissions de COVNM en France



Répartition des émissions de COVNM en France



COVNM

Composés organiques volatils non méthaniques

Type
Polluant atmosphérique

Définition
Les COVNM sont des espèces organiques gazeuses issues des phénomènes de combustion, d'évaporation, de réactions chimiques ou biologiques...
La notation COVNM est utilisée afin de distinguer le méthane (gaz à effet de serre (CH₄)) des autres COV.

Composition chimique
Contiennent au moins un atome de carbone associé à des atomes d'hydrogène, oxygène, azote, soufre, halogènes, phosphore, silicium.

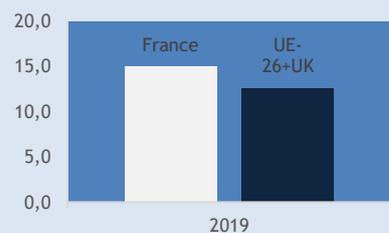
Origine
Sources anthropiques : procédés industriels impliquant des solvants (chimie de base, chimie fine, dégraissage des métaux, application de peintures, encres, colles, etc.); raffinage de pétrole, production de boissons alcoolisées et de pain; installations de combustion industrielles et équipements de combustion domestiques au bois; distribution des carburants; usages domestiques de solvants.
Sources naturelles : COV biotiques issus des forêts, prairies et cultures.

Phénomènes associés
Les COVNM réagissent avec les NO_x, sous l'effet du rayonnement solaire, pour former de l'ozone troposphérique. Ce sont aussi des précurseurs d'aérosols secondaires.

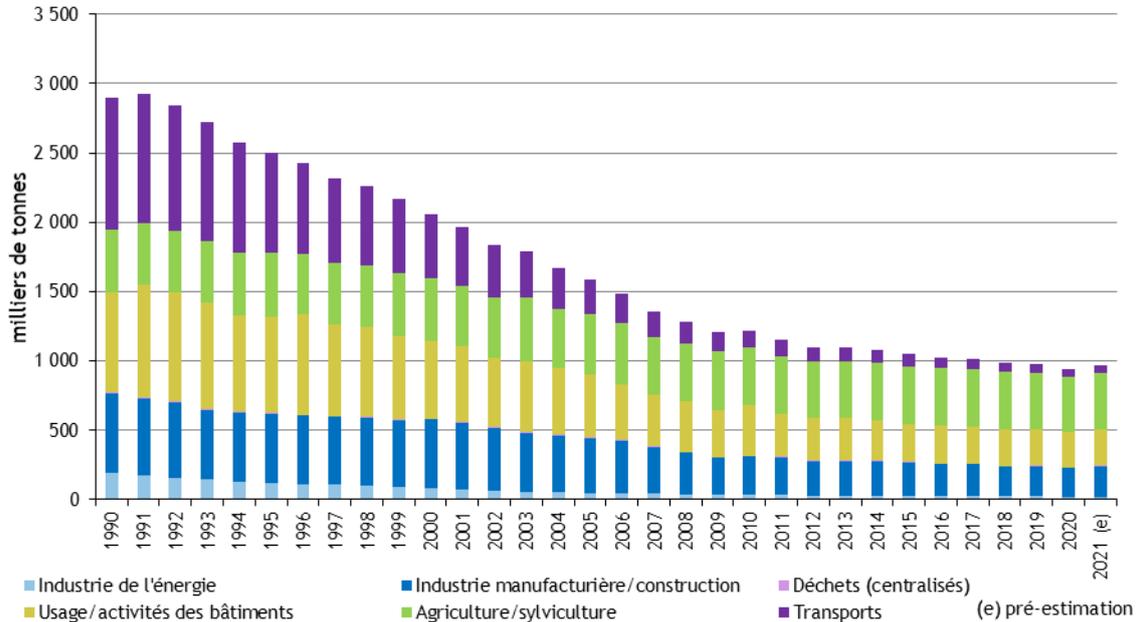
Effets
 Précurseur d'ozone
 Effet de serre
 Santé (difficultés respiratoires, irritations oculaires, certains COV sont cancérigènes...)

Émissions par habitant

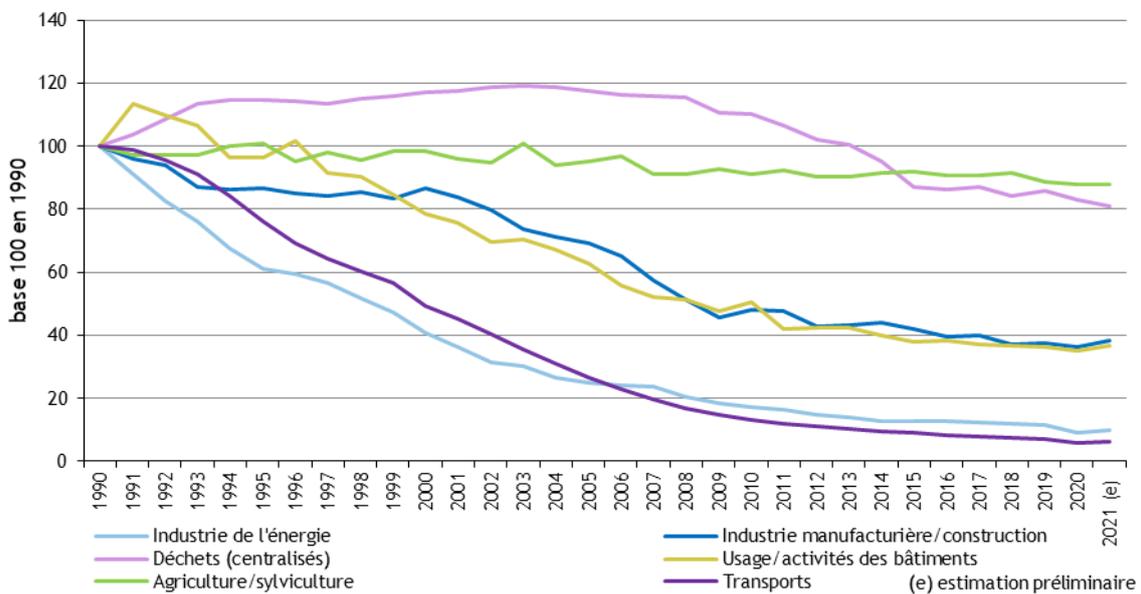
kg/hab/an en 2019



Evolution des émissions dans l'air de COVNM depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de COVNM en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de COVNM (kt/an) Périmètre : Métropole								% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
	1988	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)			-174,4	-91%	-4,6	-21%	+1,6	+9%
Industrie de l'énergie	244,9	192,2	77,9	32,8	22,4	17,8	19,4	2%	-366,0	-64%	-6,3	-3%	+10,0	+5%	
Industrie manufacturière et construction	572,5	576,4	499,1	277,1	216,6	210,3	220,3	22%	-0,9	-17%	-0,2	-3%	-0,1	-2%	
Traitement centralisé des déchets	5,0	5,4	6,3	6,0	4,6	4,5	4,4	0%	-464,9	-65%	-8,4	-3%	+11,9	+5%	
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	674,5	717,5	563,5	361,5	261,0	252,6	264,6	27%	-55,8	-12%	-4,2	-1%	+1,0	+0%	
Agriculture / sylviculture	437,0	455,5	448,7	415,8	404,0	399,7	400,7	43%	-892,0	-94%	-10,5	-16%	+2,9	+5%	
Transports	972,5	946,2	465,1	125,8	64,7	54,2	57,2	6%							
Transport hors total	7,4	8,4	9,6	8,0	6,0	3,2	3,3								
TOTAL national	2 906	2 893	2 061	1 219	973	939	967	100%	-1954	-68%	-34	-4%	+27	+3%	

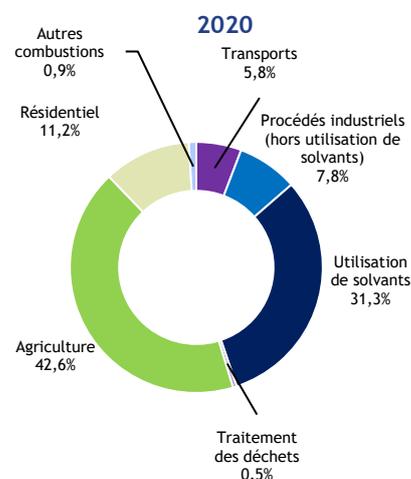
Analyse

Enjeux

Sources principales

Que cela soit au sein du secteur résidentiel/tertiaire ou du secteur industriel, une source significative d'émissions anthropiques de Composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) est l'utilisation de solvants (peintures, colles, etc.). Cependant, c'est la combustion du bois dans les petits équipements domestiques qui place le secteur résidentiel/tertiaire en tête des principaux secteurs émetteurs. Des sources naturelles (biogéniques) de COVNM sont aussi comptabilisées en hors-total (voir plus bas).

Si l'on distingue spécifiquement l'utilisation de solvant, on constate qu'il s'agit de la seconde source d'émissions de COVNM en France (31 % en 2020) qui vient après l'agriculture, source principale d'émissions de COVNM (43 % en 2020).



Effets environnementaux et sanitaires

Les COVNM réagissent avec les NO_x, sous l'effet du rayonnement solaire, pour former de l'ozone troposphérique. Ce sont des précurseurs d'aérosols secondaires et ont aussi des effets sanitaires : difficultés respiratoires, irritations oculaires, certains COV sont cancérogènes...

Objectifs de réduction

La première directive NEC (*National Emission Ceilings* communément appelée NECD) de 2001 (2001/81/CE), avait repris les plafonds du Protocole de Göteborg en en sévérant 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 émissions nationales de certains polluants atmosphériques. Cette dernière fixe les engagements de réduction d'émissions pour chaque État membre et pour cinq polluants : SO₂, NO_x, COVNM, PM_{2.5} et NH₃ 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.

En 2020, la France a émis 939 kt de COVNM, soit -41% 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. Après ajustement, la réduction d'émissions entre 2020 et 2005 est de 54%, soit une atteinte de l'objectif de -43%. Si les émissions après ajustement se maintiennent à ce niveau voire diminuent, l'objectif 2030 serait également respecté.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 25 % en 2018.

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 entre 2005 et 2009, plus de 10 % en 2009.

Globalement, la baisse des émissions, de 68 %, constatée entre 1990 et 2020 s'explique par une réduction dans chacun des secteurs d'activité détaillés ci-dessous :

Transport routier (- 94 % entre 1990 et 2020) : 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.

Résidentiel/tertiaire (- 65 % entre 1990 et 2020) : les produits contenant des solvants sont substitués par des produits à plus faible teneur ou sans solvant. 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.

Industrie manufacturière (- 64 % entre 1990 et 2020) : 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.

Transformation d'énergie (- 91 % entre 1990 et 2020) : 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 (- 12 % entre 1990 et 2020) : 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 par le renouvellement du parc des engins agricoles dont les normes d'émissions à l'échappement ont été sévèrement au cours du temps.

Évolution récente

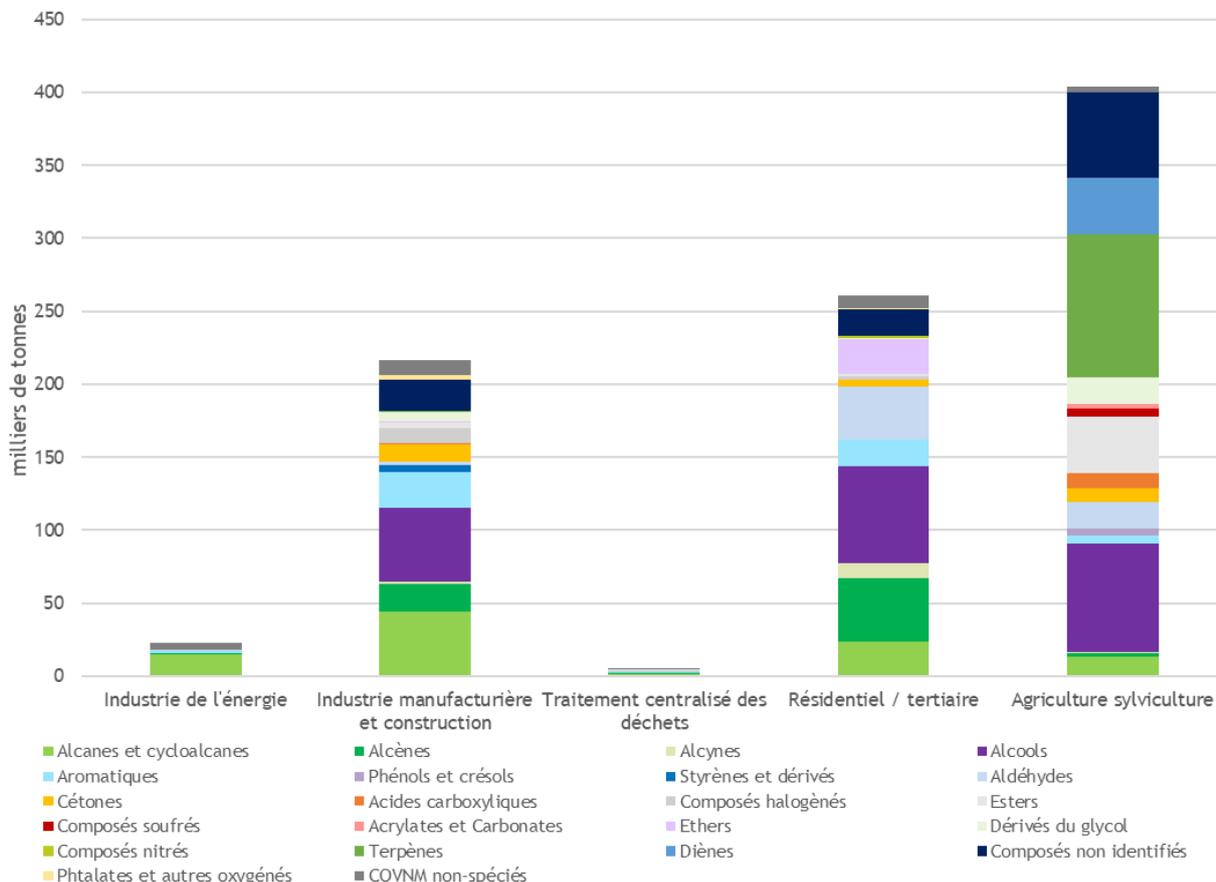
Bien que les émissions de COVNM soient en forte baisse depuis 1990, cette tendance s'est fortement ralentie depuis 2009.

Entre 2010 et 2020, les émissions continuent toutefois de se replier à un rythme de moyen de 3 % par an notamment dans le secteur résidentiel (- 4 % / an) et dans l'industrie manufacturière. En revanche, les émissions du secteur agricole suivent une tendance stable (- 0,3 % / an). Entre 2019 et 2020, la tendance se poursuit avec un repli de 4 % des émissions au niveau national.

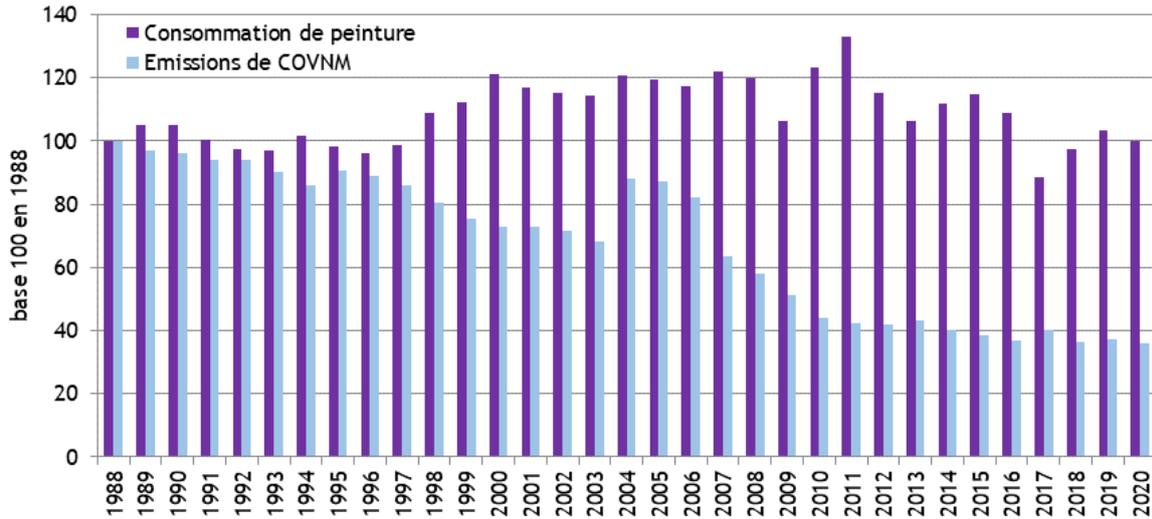
Spéciation / Analyse solvants

Le fichier « Émissions par substance », onglet COVNM, présente le détail des émissions de COVNM par usages de peintures, vernis et autres solvants. Les graphiques ci-après présentent, pour l'année 2019, la répartition des émissions de COVNM en 21 familles de composés organiques pour les grands secteurs émetteurs. La spéciation des 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.

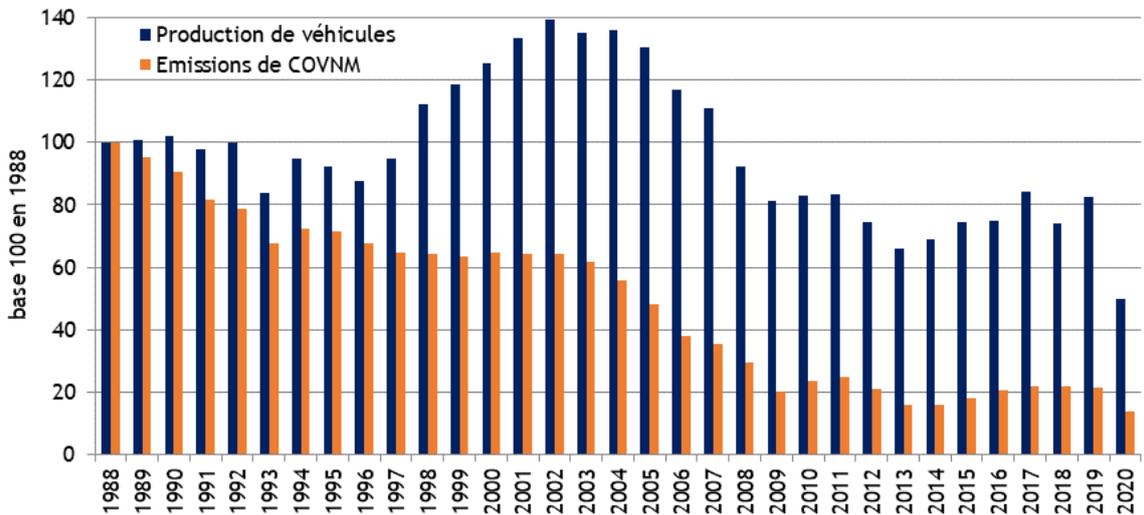
Répartition des émissions par famille et par secteur en France en 2020 (Métropole)



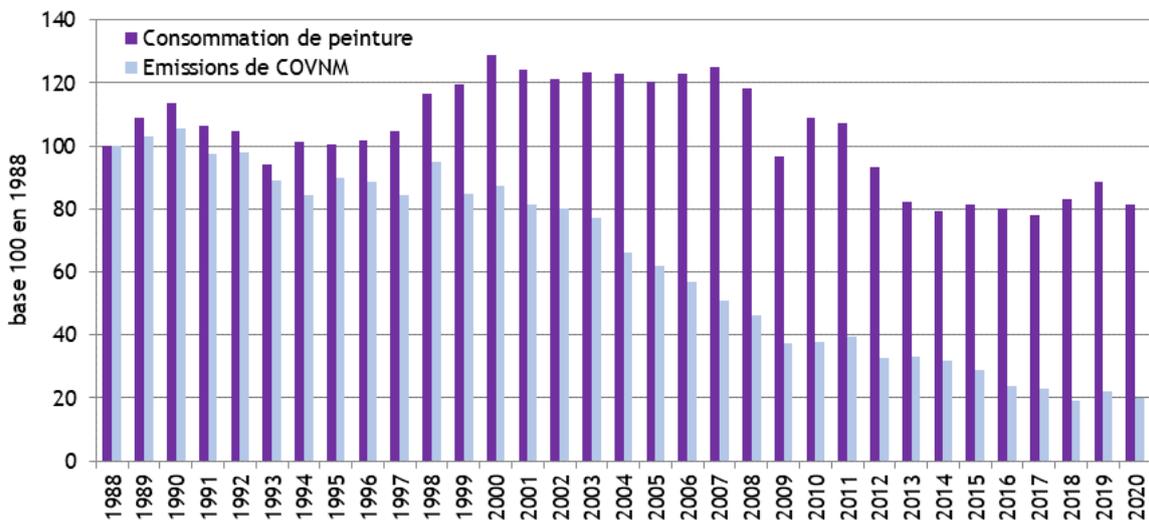
Usage de peintures et vernis toutes sources confondues en France (Métropole)



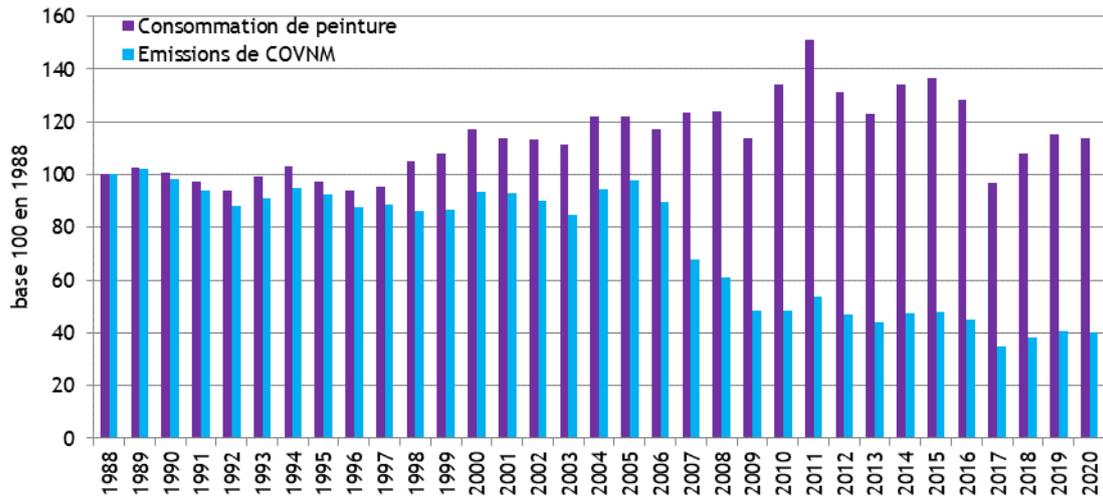
Usage de peintures et vernis dans les véhicules routiers en France (Métropole)



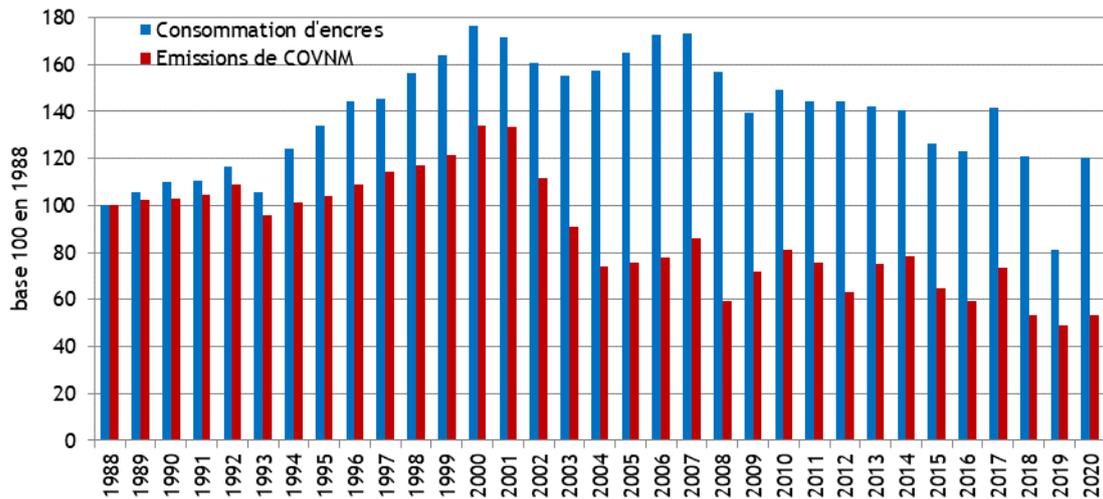
Usage de peintures et vernis dans l'industrie (dont automobile) en France (Métropole)



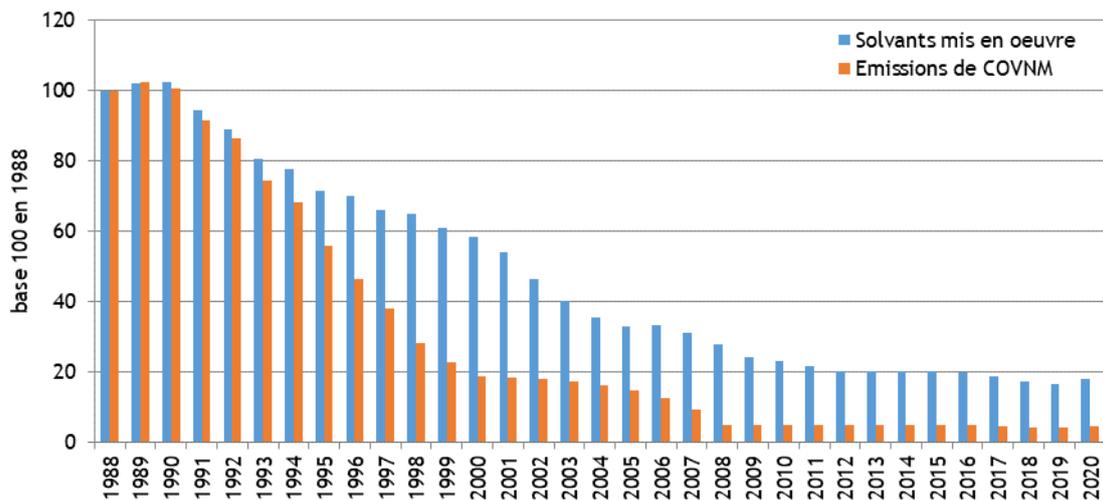
Usage de peintures et vernis dans le bâtiment et grand public en France (Métropole)



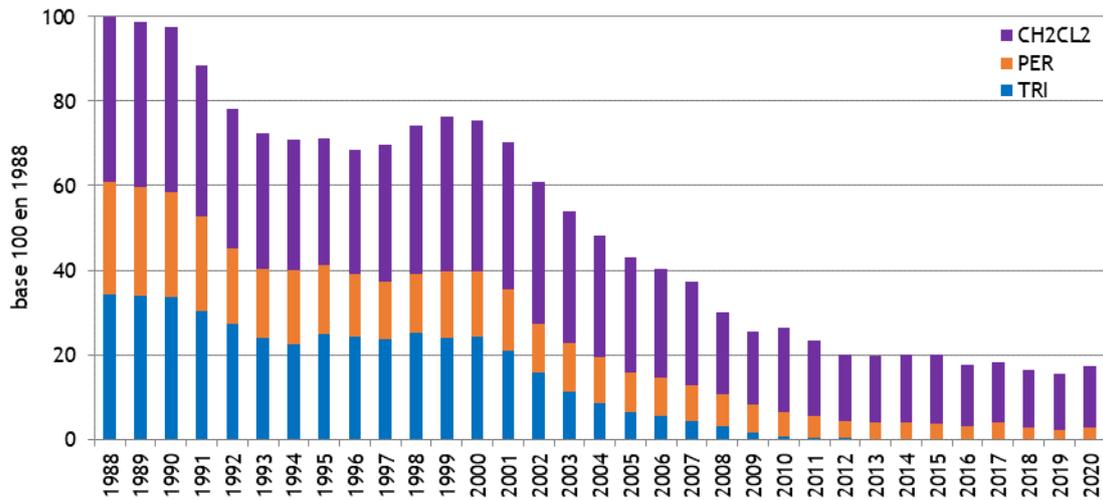
Usage de solvants dans l'imprimerie en France (Métropole)



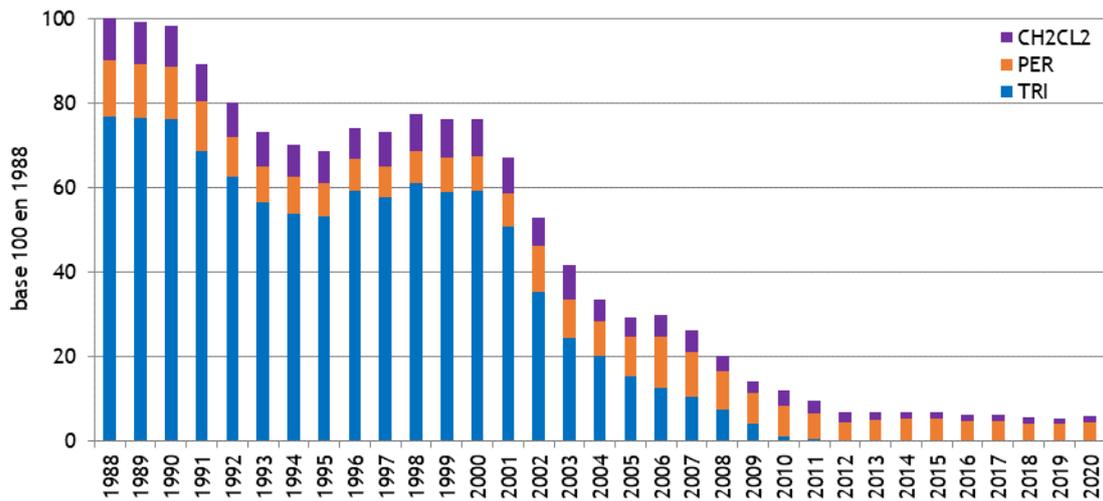
Usage de solvants chlorés et non-chlorés dans le nettoyage de surface en France (Métropole)



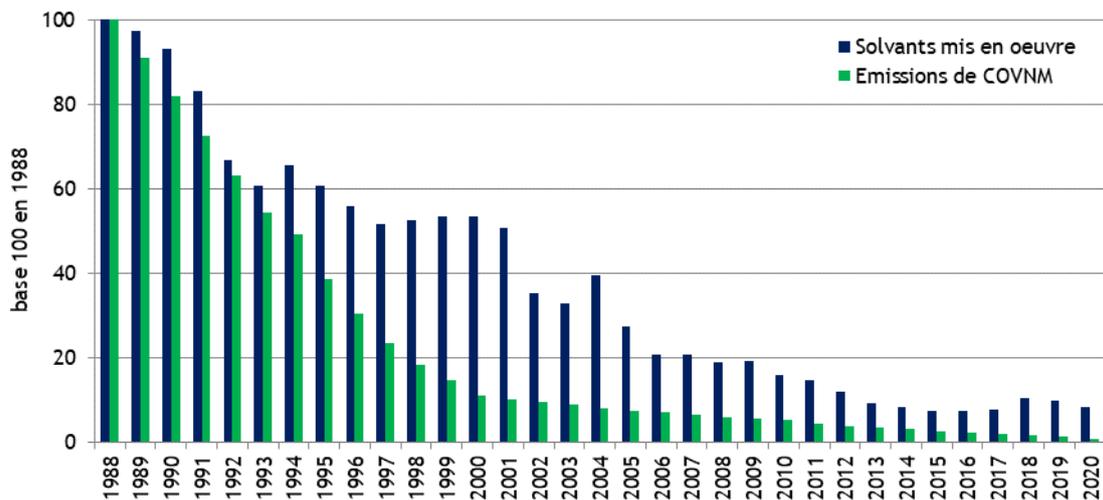
Usage de solvants mis sur le marché TRI, PER et CH₂Cl₂ en France (Métropole)



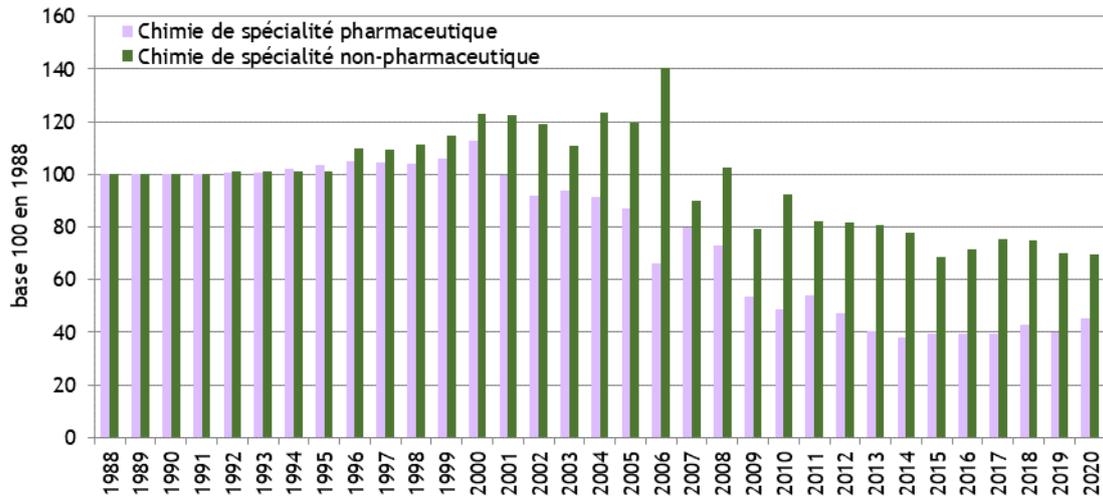
Usage de solvants dans le nettoyage de surface TRI, PER et CH₂Cl₂ en France (Métropole)



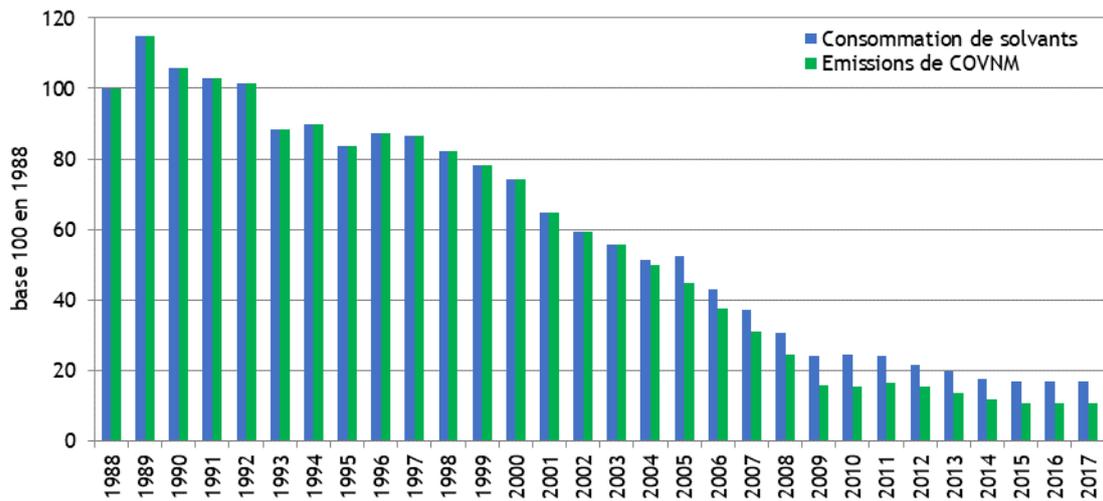
Usage de solvants dans le nettoyage à sec en France (Métropole)



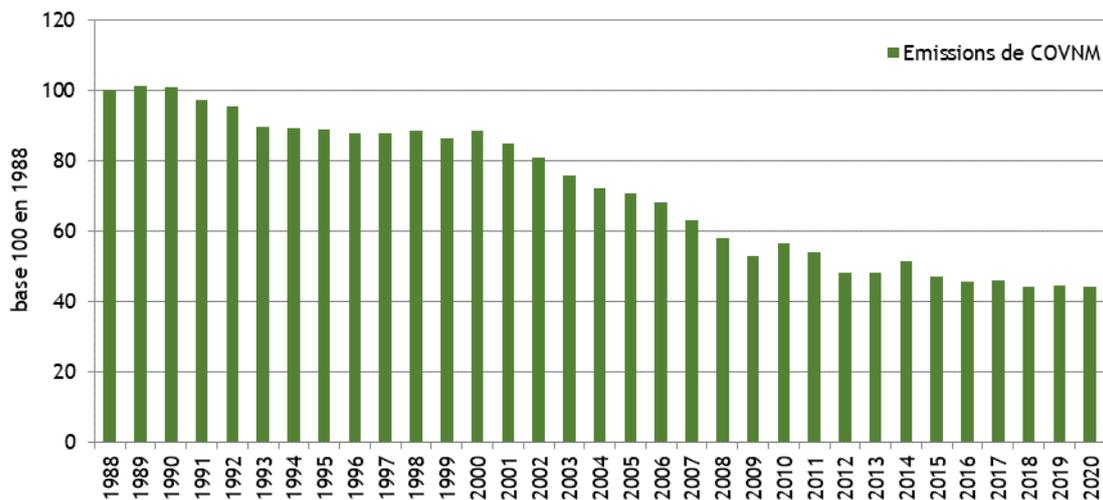
Emissions de COVNM liées à l'usage de solvants dans la chimie de spécialité en France (Métropole)



Usage de solvants dans la production de pneumatiques en France (Métropole)



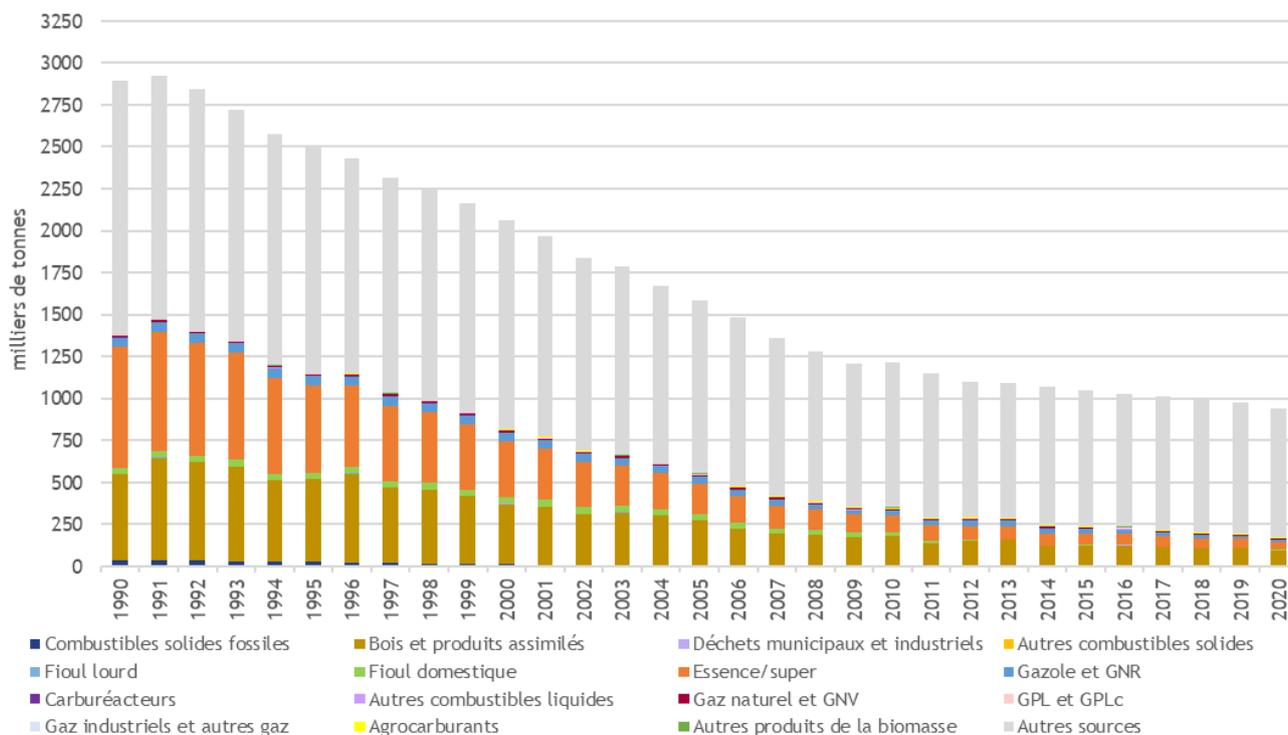
Emissions de COVNM liées à l'usage des solvants (toutes sources confondues) en France (Métropole)



Part des émissions liée aux combustibles

En 2020, 82% des émissions totales de COVNM ne sont pas liées aux combustibles. Sur les 19% restants, c'est le bois qui représente la plus grande part (11% des émissions totales).

Répartition des émissions de COVNM par combustible en France (Métropole)

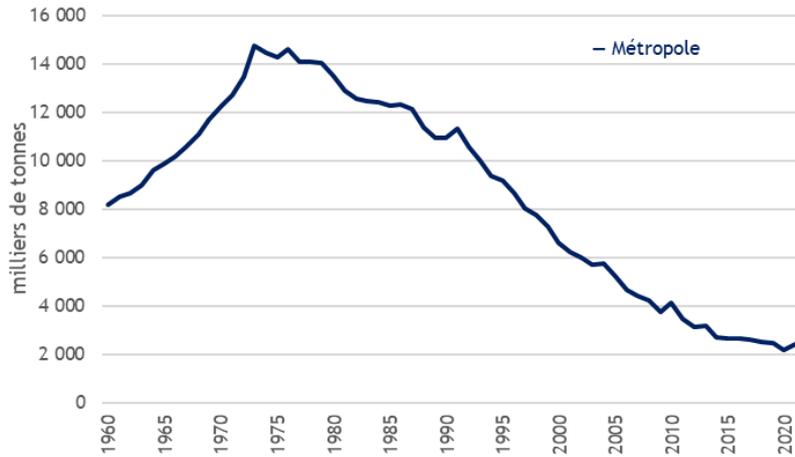


Et ailleurs ?

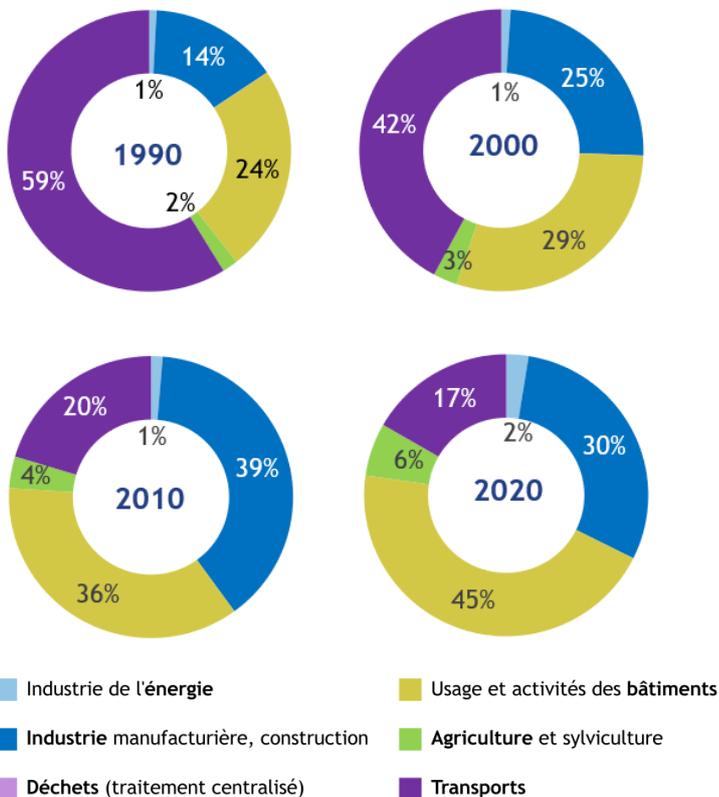
En Chine, même si, depuis 2010, les mesures de contrôle des émissions et surtout la mise en œuvre, dès 2013, du plan quinquennal « Clean Air Action » a permis une réduction de la majorité des émissions de polluants, ce n'est pas le cas pour les COVNM qui ne sont pas visés par des mesures spécifiques de réduction. Ainsi, les émissions de COVNM en Chine ont augmenté de +11 % entre 2010 et 2017 (Zheng, B. et al., 2018).

Emissions de CO en bref

Evolution des émissions de CO en France



Répartition des émissions de CO en France



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 CO₂, principal gaz à effet de serre.

Effets

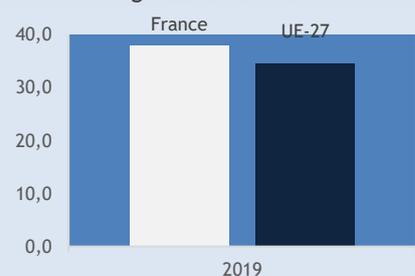
Précurseur d'ozone

Acidification

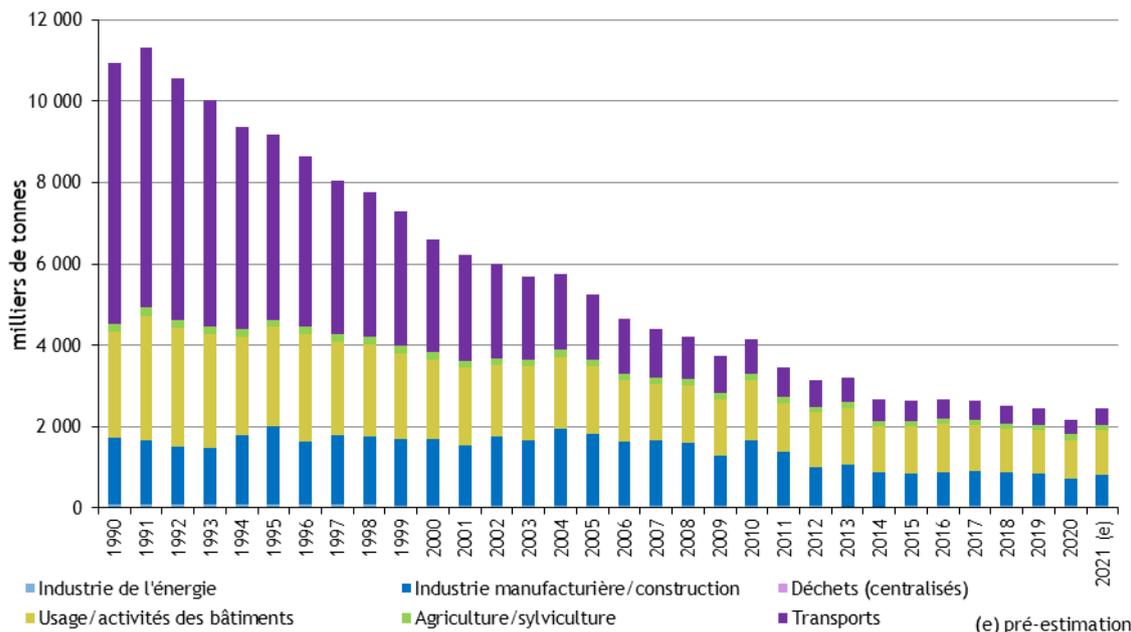
Effet de serre

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.)

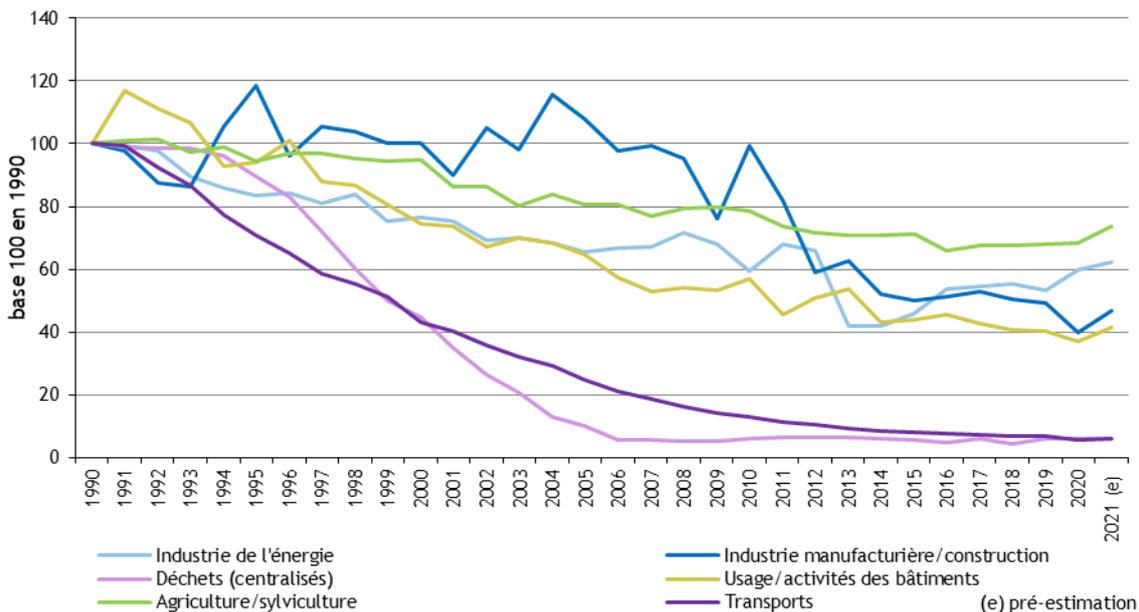
Emissions par habitant
kg/hab/an en 2019



Evolution des émissions dans l'air de CO depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de CO en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de CO (kt/an)
Périmètre : Métropole

	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
Industrie de l'énergie	91,5	70,0	54,6	48,7	54,9	57,1	3%	2%	-36,7	-40%	6,2	+13%	+2,2	+4%
Industrie manufacturière et construction	1 615	1 621	1 603	796	645	755	30%	31%	-970,1	-60%	-151,2	-19%	+109,8	+17%
Traitement centralisé des déchets	4,0	1,8	0,3	0,2	0,2	0,3	0%	0%	-3,8	-94%	0,0	-4%	+0,0	+6%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	2 612	1 948	1 491	1 054	971	1 084	45%	45%	-1641,0	-63%	-83,3	-8%	+113,2	+12%
Agriculture / sylviculture	191,9	182,4	150,5	130,2	131,2	141,1	6%	6%	-60,7	-32%	1,0	+1%	+9,9	+8%
Transports	6 436	2 785	843	430	361	398	17%	16%	-6075,0	-94%	-69,9	-16%	+37,9	+11%
Transport hors total	30,4	35,3	29,7	24,5	13,1	14,1								
TOTAL national	10 950	6 608	4 141	2 460	2 162	2 435	100%	100%	-8787	-80%	-297,1	-12%	+273	+13%

Analyse

Enjeux

Effets sanitaires

Le monoxyde de carbone, résultat de la combustion incomplète, est un gaz toxique pouvant causer des intoxications mortelles chez l'Homme (environ 100 décès par an en France (Ministère des Solidarité et de la Santé)).

Objectifs de réduction

Aucun objectif de réduction ou limite d'émission de monoxyde de carbone ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 48 %.

A noter

La part hors total des émissions de CO provient en majorité (entre 94 et 96 % sur la période 1990-2019) de la comptabilisation « hors-total national » du secteur UTCATF. Cette comptabilisation inclue notamment les émissions de polluants liées aux feux de forêt (pour plus de précision sur cette comptabilisation, consulter le chapitre consacré à l'UTCATF). La part hors total représente une proportion relative croissante du total national, évoluant entre 6 % en 1991 et 27 % en 2019.

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.

Ces variations s'expliquent par les évolutions dans 3 secteurs :

- L'industrie manufacturière et plus précisément le secteur sidérurgique (fonte, acier, aggloméré) a subi de fortes variations de la production, ainsi que des fluctuations selon les années de la valorisation des gaz sidérurgiques, paramètre jouant directement sur le facteur d'émission du CO.
- Le transport routier doit ses évolutions au développement de normes environnementales pour les véhicules routiers au début des années 1970, suivi par la mise en place de pots catalytiques à compter de 1993 pour les véhicules essence et 1997 pour les véhicules diesel.
- Le résidentiel-tertiaire contribue aux émissions de CO du fait principalement de la combustion du bois dans le résidentiel, et notamment dans les foyers ouverts.

Ainsi, sur l'ensemble de la période, la plupart des secteurs d'activité connaît une baisse des émissions, sauf pour les autres modes de transport du fait de l'augmentation du trafic intérieur (plaisance) dont les émissions sont cependant en baisse depuis le pic de 2004 et la mise en place de normes d'émission.

Évolution récente

Ces dernières années, une baisse progressive et substantielle des émissions au niveau national est observée, du fait d'événements 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 et par une meilleure valorisation du gaz de haut-fourneau en sidérurgie.

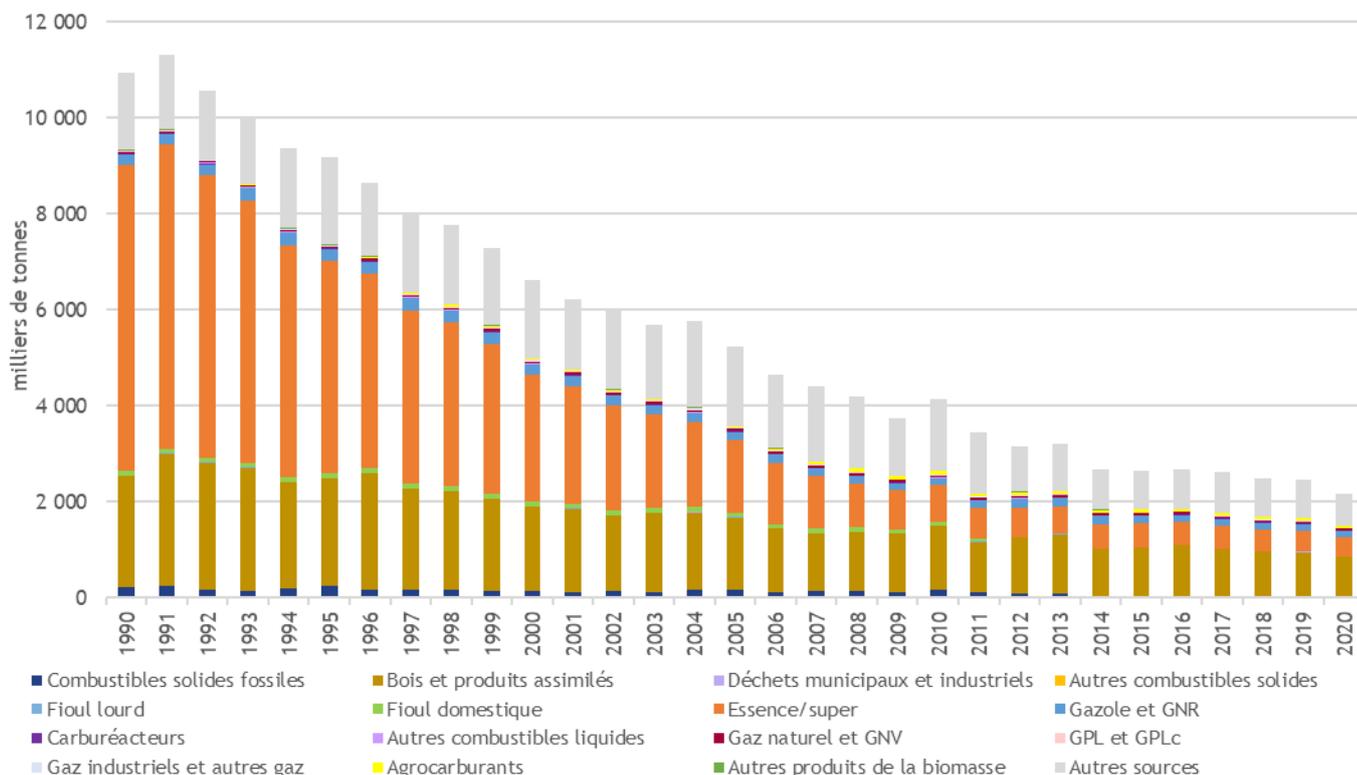
Le sous-secteur du résidentiel est devenu le plus gros contributeur aux émissions de CO depuis quelques années. En cause, la combustion du bois dans les appareils de chauffage et notamment les foyers ouverts. Des augmentations d'émissions sont observées directement en lien avec l'augmentation de la consommation de bois dans le secteur.

La volonté du gouvernement de réduire la part des véhicules diesel dans le parc automobile français (actée dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte) pour limiter les émissions de CO₂ et de particules pourrait avoir un effet inverse sur les émissions de CO.

Part des émissions liée aux combustibles

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 1994 inclus et plus de 40% jusqu'en 1999 inclus). Aujourd'hui, les émissions proviennent essentiellement (pour plus de deux tiers) de la combustion du bois (37% en 2019) et des usages non-énergétiques (33% en 2019).

Répartition des émissions de CO par combustible en France (Métropole)



Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de CO en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 36,6 kg par habitant et par an contre 34,5 kg dans l'Union Européenne (UE-27) en moyenne en 2019 (table NFR UE éd. 2021). L'écart et les émissions se sont toutefois réduits par rapport à 1990 (187 kg/hab/an pour la France, 119 kg/hab/an pour l'UE-27).

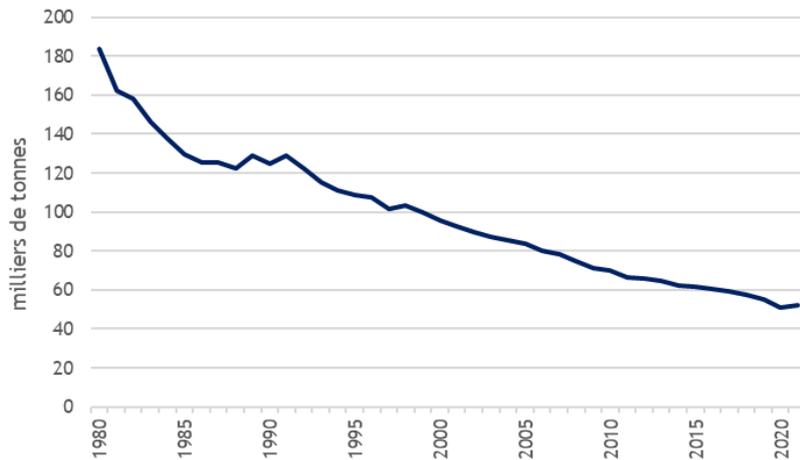
En Chine, depuis 2010, les mesures de contrôle des émissions et surtout la mise en œuvre, dès 2013, du plan quinquennal « Clean Air Action » a permis une réduction de la majorité des émissions de polluants. Les émissions de CO ont ainsi baissé de 27 % entre 2010 et 2017. (Zheng, B. et al., 2018)

En savoir plus

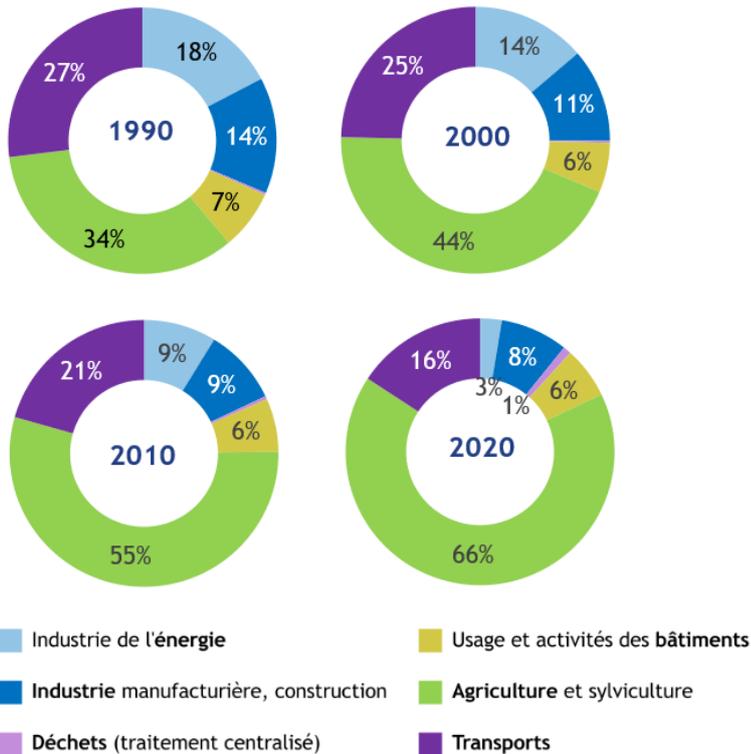
B. Zheng, D. Tong, M. Li, F. Liu, C. Hong, G. Geng, H. Li, X. Li, L. Peng, J. Qi, L. Yan, Y. Zhang, H. Zhao, Y. Zheng, K. He, Q. Zhang Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions Atmos. Chem. Phys., 18 (2018), pp. 14095-14111

Emissions de SO₂, NO_x et NH₃ en acide équivalent en bref

Evolution des émissions de SO₂, NO_x et NH₃ en acide équivalent en France



Répartition des émissions de SO₂, NO_x et NH₃ en acide équivalent en France



Aeq

Acide équivalent

Définition

Aeq : indicateur acide équivalent calculé sur la base de la part en masse des ions H⁺ soit : 0,0313 pour SO₂, 0,0217 pour NO_x et 0,0588 pour NH₃.

Composition chimique

Voir chaque substance

Origine

Voir chaque substance

Type

indicateur

Phénomènes associés

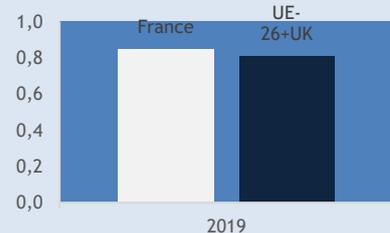
Ces polluants se transforment et retombent sous forme de retombées sèches ou humides. SO₂ et NO_x se transforment respectivement en sulfates et en nitrates ainsi qu'en acide sulfurique et en acide nitrique selon les conditions. Le NH₃, émis principalement par les activités agricoles, se transforme aussi en ammonium

Effets

 Précurseur d'ozone

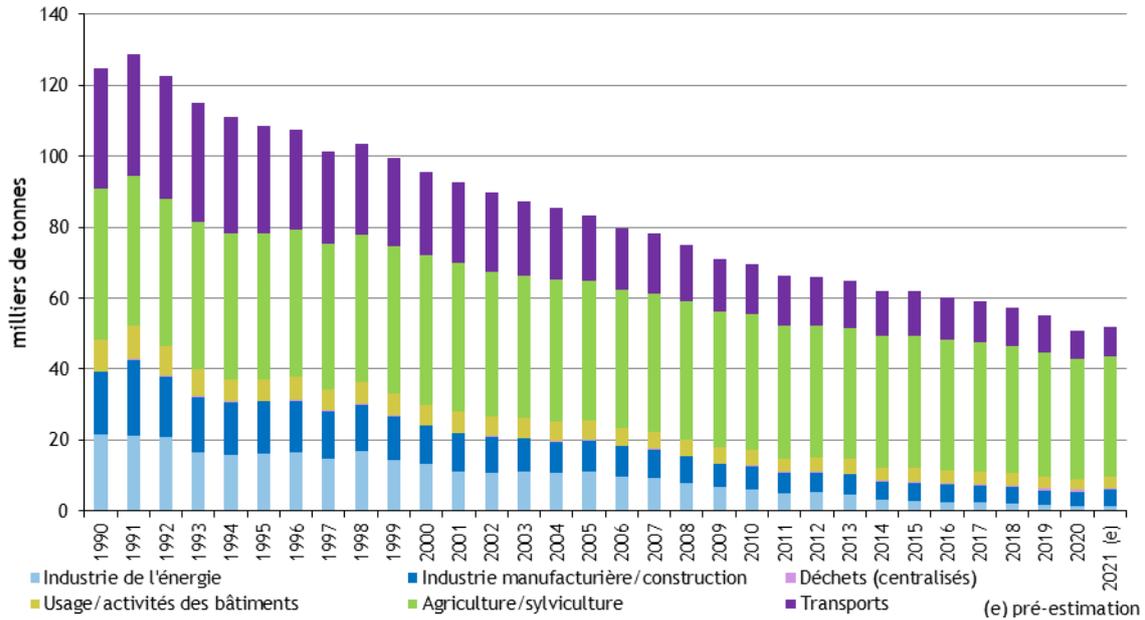
 Acidification

Emissions par habitant kg/hab/an en 2019

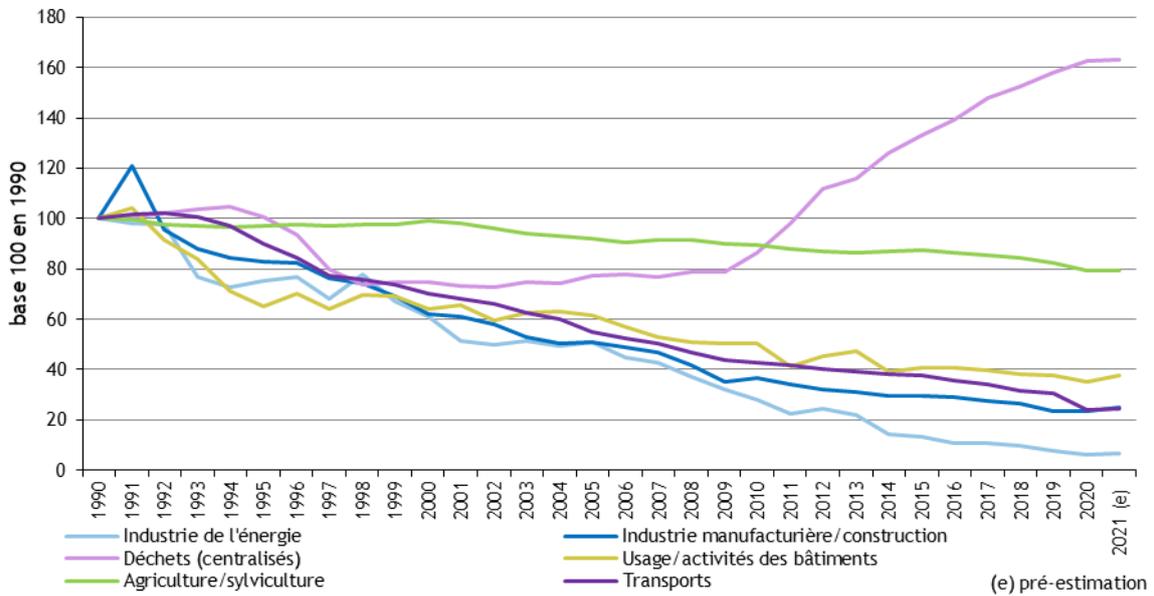


SO₂, NO_x et NH₃ en acide éq.

Evolution des émissions dans l'air de Aeq depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de Aeq en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions d'Aeq (kt/an)
Périmètre : Métropole

	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
									-20	-92%	-0,5	-22%	-0,4	-21%
Industrie de l'énergie	21,6	13,1	6,1	1,7	1,3	1,5	3%	3%	-20	-92%	-0,5	-22%	-0,4	-21%
Industrie manufacturière et construction	17,6	10,9	6,4	4,1	4,1	4,4	7%	8%	-13	-77%	-0,5	-11%	+0,0	+0%
Traitement centralisé des déchets	0,3	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	1%	1%	0	58%	0,0	4%	+0,0	+3%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	9,0	5,8	4,5	3,4	3,2	3,4	6%	6%	-6	-63%	-0,1	-1%	-0,2	-6%
Agriculture / sylviculture	42,6	42,1	38,1	35,1	33,7	33,7	64%	66%	-7	-17%	-0,9	-2%	-1,4	-4%
Transports	33,6	23,6	14,4	10,3	8,0	8,3	19%	16%	-23	-69%	-0,4	-4%	-2,3	-22%
Transport hors total	9,9	11,4	9,0	8,2	3,0	3,1								
TOTAL national	124,6	95,7	69,7	55,1	50,9	51,8	100%	100%	-70	-56%	-2,3	-4%	-4,2	-8%

Références utilisées dans le chapitre

AEE 2018 - Agence de l'environnement européenne - Air quality in Europe - 2018 report. N° 12. ISBN 978-92-9213-989-6

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.

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, 1998 - Derwent, R. ; Jenkin, M. ; Saunders, S. ; Pillings, M. : Photochemical creation potentials for organic compounds in northwest Europe calculated with a master chemical mechanism - Atmospheric environment. Volume 32. n° 15 - pp. 2429-2441 - 1998.

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

IPCC- AR5-2014 - Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, 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.

Seigneur 2018 - Seigneur Ch. - Pollution atmosphérique - Concepts, théorie et applications - BELIN éducation - ISBN 978 -2-410-00855-5.

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

Citepa. Rapport Secten édition 2022

Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France

Métaux lourds

Rédaction

Benjamin CUNIASSE

Etienne FEUTREN

► [Télécharger les données associées au chapitre sur citepa.org/fr/secten](https://citepa.org/fr/secten)

Sommaire du chapitre

Définition	208
Arsenic (As)	211
Cadmium (Cd).....	215
Chrome (Cr)	219
Cuivre (Cu)	223
Mercure (Hg).....	227
Nickel (Ni)	231
Plomb (Pb).....	235
Sélénium (Se)	239
Zinc (Zn)	243

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/cm³. 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 (Mg),
- 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 oligoélément et un bioélément, mais à très faible dose.

Sources

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 : <http://www.euro.who.int/fr/publications/abstracts/health-risks-of-heavy-metals-from-long-range-transboundary-air-pollution-2007>
- 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 avril 2022, 129 Parties l'ont ratifié ou y ont adhéré (Minamata 2022). La France est Partie prenante de cette Convention.

- 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 mais les amendements ne sont pas encore en vigueur (AARHUS, 2012).

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 Valeurs Limites d'Émissions (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 (Mg), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), sélénium (Se), tellure (Te), thallium (Tl), vanadium (V) et zinc (Zn) (Arrêté 1998).

Les inventaires d'émissions nationaux 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'Évaluation en zone rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance. Cinq stations de

fonds ruraux 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 2019). La référence (CCC 2021), présente la mesure de métaux réalisée dans la zone EMEP.

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/m³) 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/m³) n'a été mesurée.
- Pour le Ni, sur 679 stations, trois dépassements de la valeur cible de 20 ng/m³ 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/m³.

La figure suivante présente les concentrations d'Arsenic mesurées en Europe.

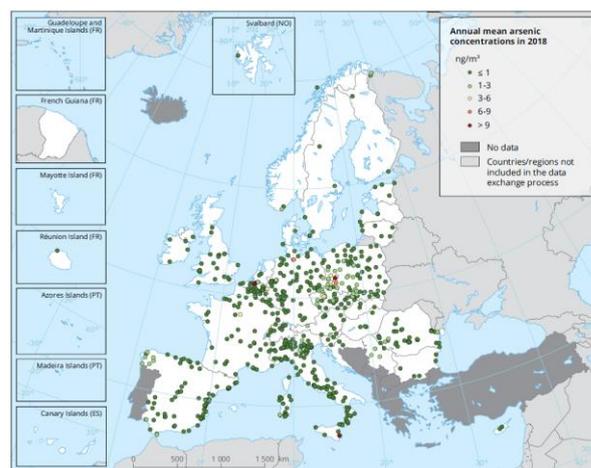
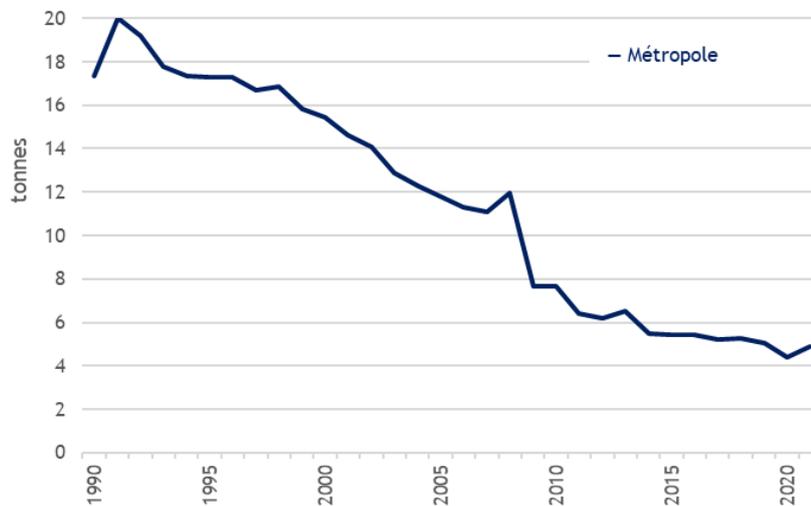


Figure 1 : concentrations d'Arsenic mesurées en 2018 en Europe (AEE 2020)

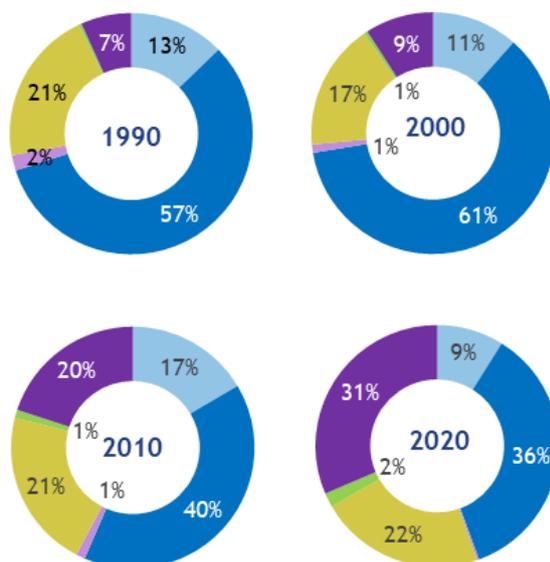
Selon les travaux EMEP, le transport des métaux lourds à longue distance est démontré. Ainsi 60 à 100 % des émissions de Pb et de Cd des pays sont déposés à l'extérieur du pays. Pour le mercure, c'est entre 80 et 100 %. En France, 50 % des dépôts de plomb, par exemple, sont d'origine extérieure au territoire (AAS 2016).

Emissions d'Arsenic en bref

Evolution des émissions d'arsenic en France



Répartition des émissions d'arsenic en France



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'arséniopyrite (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

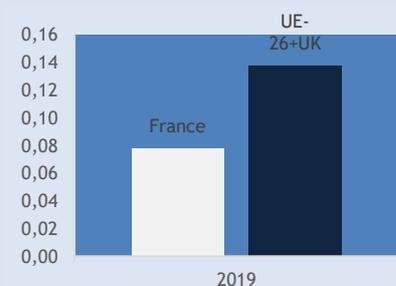


Santé,



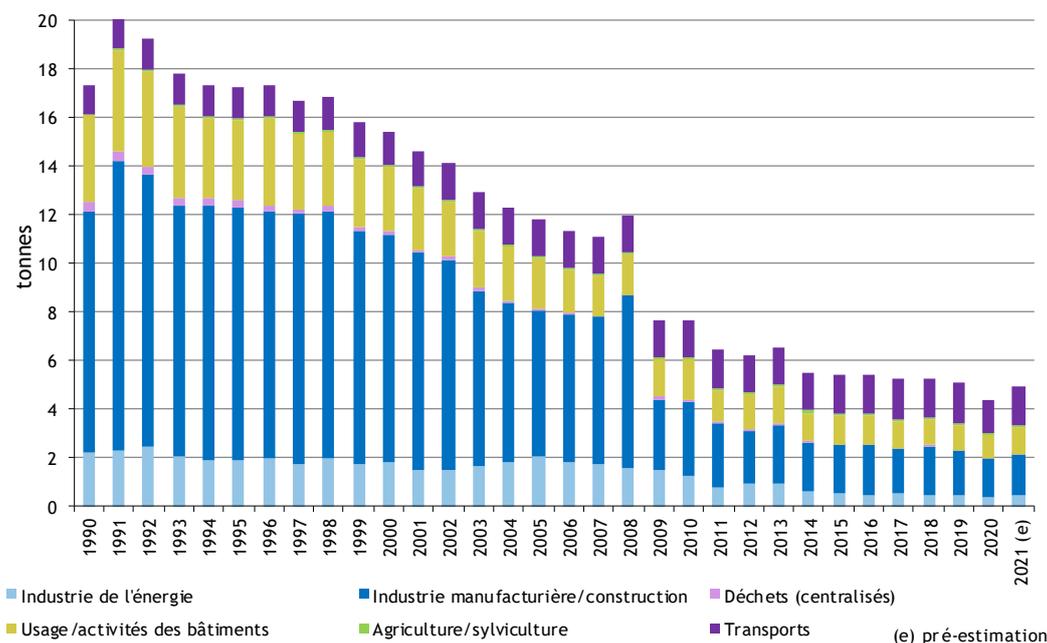
Classé cancérigène pour l'homme groupe I, selon le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC, et en anglais International Agency for Research on Cancer (IARC)).

Emissions par habitant (g/hab)

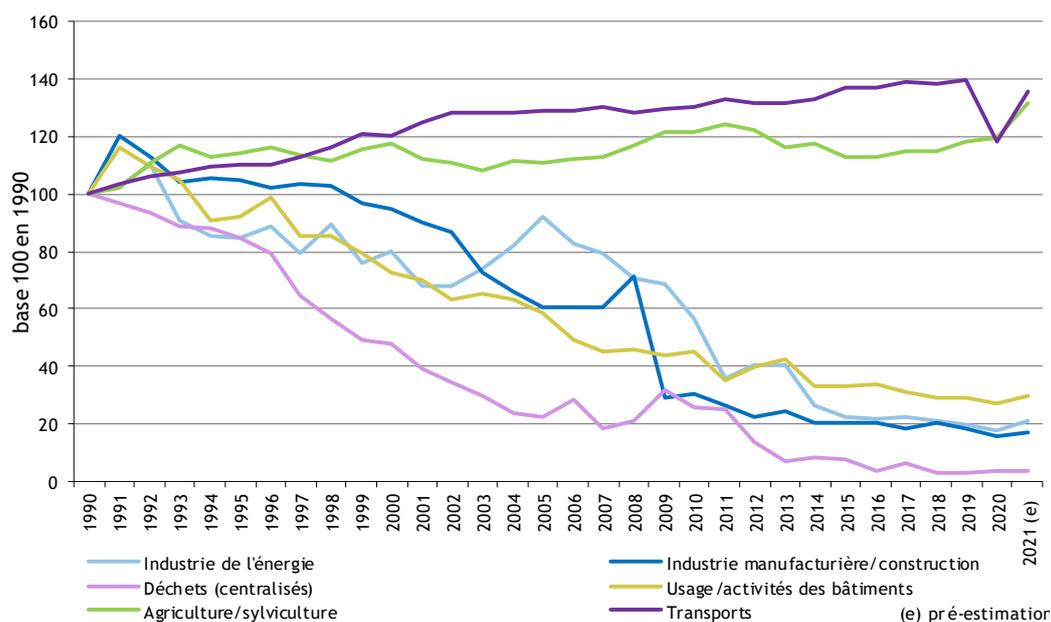


Arsenic

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)

Emissions d'As (t/an)
Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	2,2	1,9	1,8	2,0	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5
Industrie manufacturière et construction	9,9	10,4	9,4	6,0	3,1	2,0	2,0	1,9	2,0	1,85	1,56	1,7
Traitement centralisé des déchets	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	3,6	3,3	2,6	2,1	1,6	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Agriculture / sylviculture	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Transports	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,63	1,38	1,6
Transport hors total	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,29	0,15	0,1
TOTAL national	17,3	17,3	15,4	11,8	7,6	5,4	5,4	5,4	5,2	5,2	4,4	4,9
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	17,3	17,3	15,4	11,8	7,6	5,4	5,4	5,2	5,2	5,1	4,4	4,9
TOTAL hors total	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1

Analyse

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.

Objectifs de réduction

Aucun objectif de réduction ou limite d'émission d'arsenic ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 75%

A noter

La part hors total des émissions d'arsenic provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative croissante des émissions du total national évoluant entre 2,3% en 1990 et 3,4% en 2020 et culminant à 7% en 2011.

Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) d'arsenic n'est calculée.

Tendance générale

Sur la période 1990-2020, les émissions ont baissé de près de 75% avec toutefois un pic en 1991 (20 t).

Dans le secteur de l'industrie manufacturière, la forte baisse des émissions est liée principalement à la mise en place dans les aciéries électriques de dépoussiéreurs plus efficaces et plus nombreux. Toutefois, la hausse des émissions du secteur entre 2007 et 2008 résulte d'un dysfonctionnement en 2008 des épurateurs d'un site de production de verre creux. Depuis 2009, la baisse des émissions s'explique principalement par l'installation d'électrofiltres sur de nombreux fours de production de verre creux. Également, la crise financière de 2008, qui a entraîné une baisse de l'activité industrielle, est 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.

Évolution récente

Entre 2007 et 2020, les émissions d'arsenic (As) ont baissé d'environ 60%.

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.

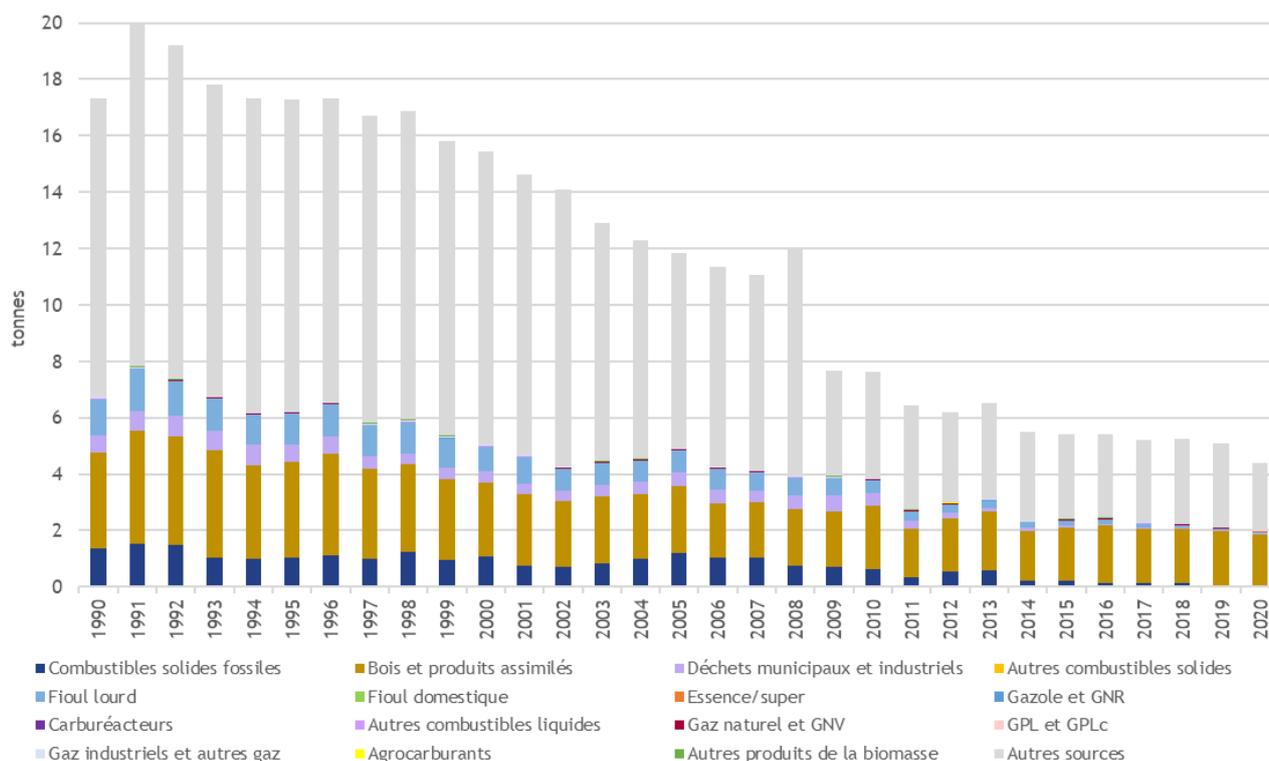
Les émissions d'As ont baissé dans tous les secteurs sauf en agriculture, où les émissions sont stables. Cependant, ce secteur reste un contributeur très marginal. Les émissions d'As dans ce secteur proviennent notamment de la combustion dans les engins mobiles, moteurs et chaudières, qui ont vu leurs consommations augmenter depuis 1990.

L'impact de la crise sanitaire et du confinement est visible sur l'évolution des émissions de l'arsenic entre 2019 et 2020, particulièrement dans les secteurs de l'industrie manufacturière et des transports après plusieurs années consécutives de baisses minimales ou de stagnations.

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, ces dernières années, la grande majorité des émissions énergétiques d'arsenic.

Répartition des émissions d'As par combustible en France (Métropole)



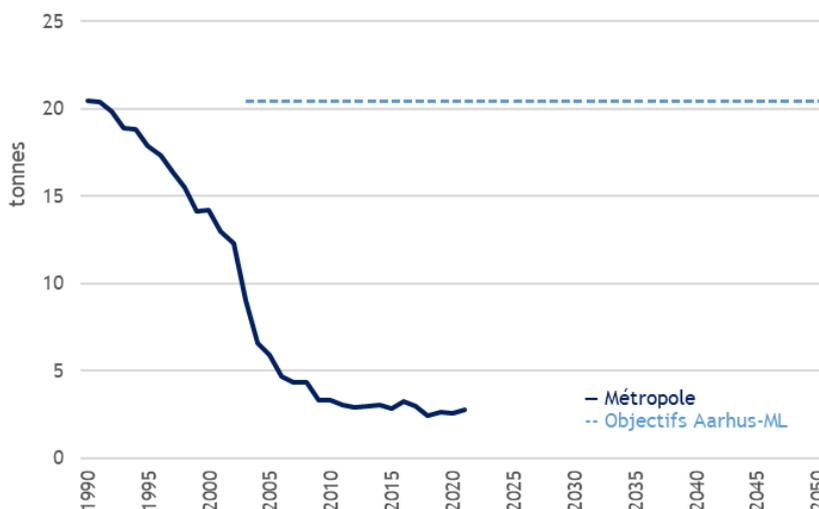
Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions d'arsenic en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 78 mg par habitant et par an contre 138 mg dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

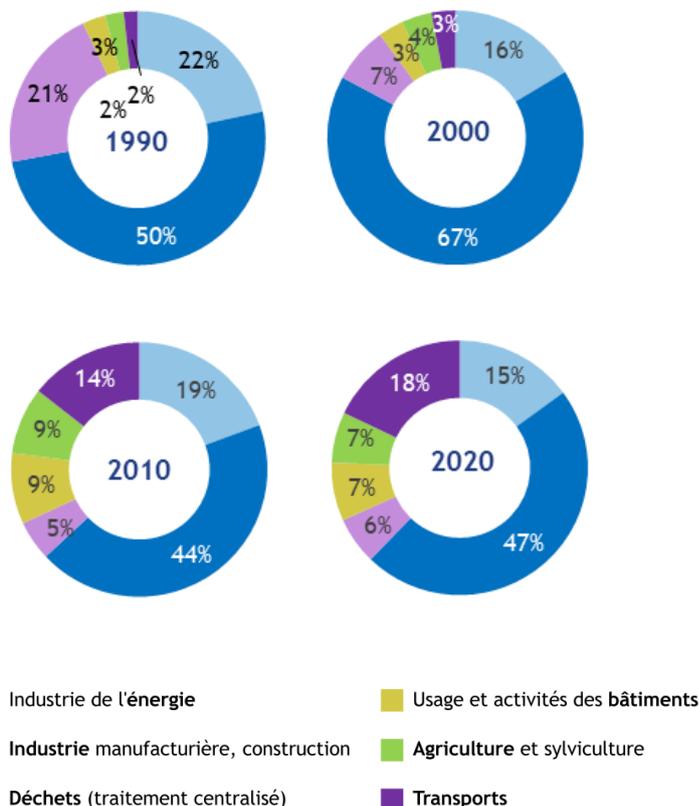
Emissions de cadmium en bref

Cd

Evolution des émissions de cadmium en France



Répartition des émissions de cadmium en France



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.

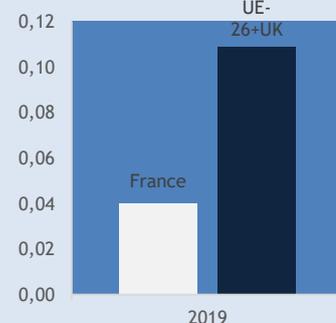
Origine
Sources anthropiques : production de zinc ; combustion de combustibles fossiles solides, de fioul lourd et de biomasse ; incinération de déchets

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).

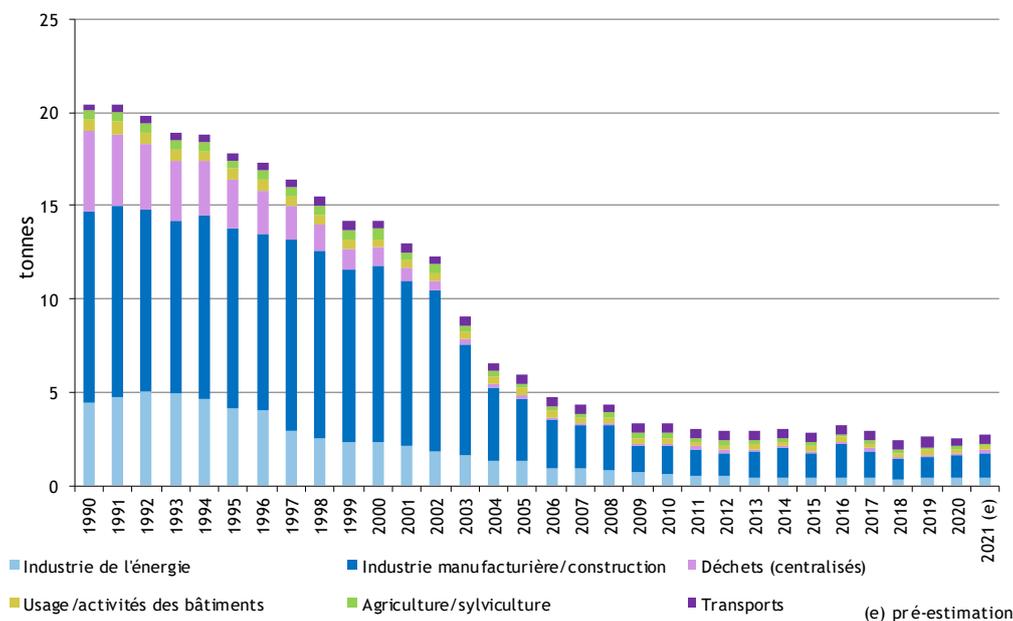
Effets
 Santé.
 Le cadmium en poudre est classé cancérigène groupe 2B (H350) (Substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé), mutagène groupe 2 (H341) et reprotoxique groupe 2 (H361fd).

Emissions par habitant (g/hab)

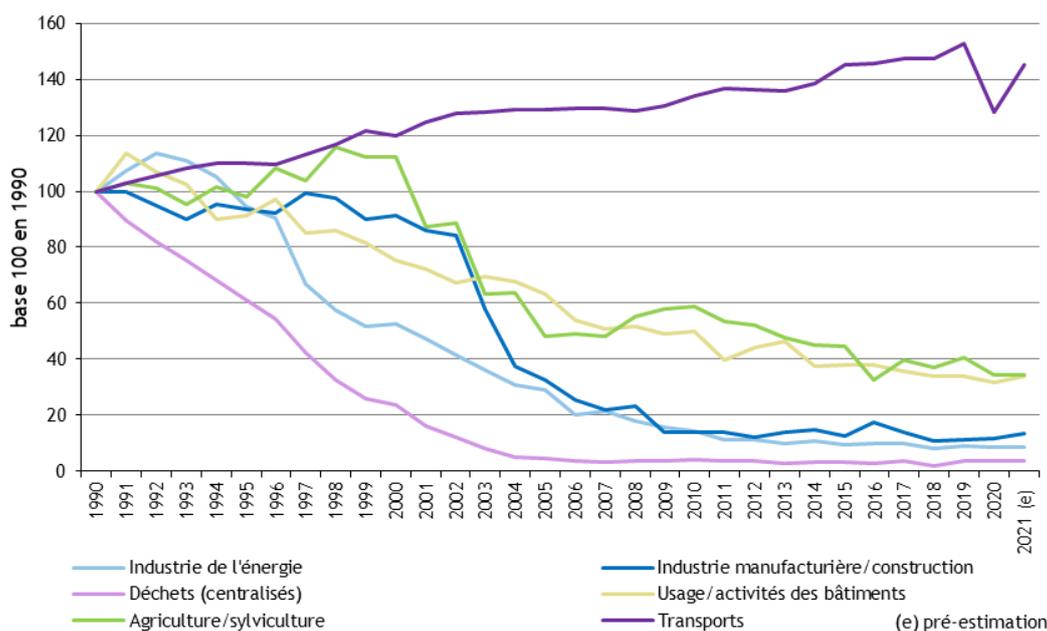


Cadmium

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)

Emissions de Cd (t/an)
Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	4,4	4,2	2,3	1,3	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
Industrie manufacturière et construction	10,3	9,6	9,4	3,4	1,4	1,3	1,8	1,4	1,1	1,1	1,2	1,4
Traitement centralisé des déchets	4,3	2,6	1,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Agriculture / sylviculture	0,5	0,5	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Transports	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Transport hors total	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
TOTAL national	20,4	17,8	14,2	5,9	3,3	2,8	3,3	3,0	2,4	2,6	2,6	2,8
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	20,4	17,8	14,2	5,9	3,3	2,8	3,3	3,0	2,4	2,6	2,6	2,8
TOTAL hors total	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0

Cadmium

Analyse

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 27 pour l'homme » (groupe 1) par le CIRC et dans la catégorie 1B (cancérigène chez l'animal) par l'Union Européenne.

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 20,4 tonnes émises par an. La France respecte cet objectif depuis 1990 puisque ses émissions de cadmium sont globalement en baisse depuis cette année de référence. Aucun autre objectif plus contraignant ne doit être respecté par la France.

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.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 39%.

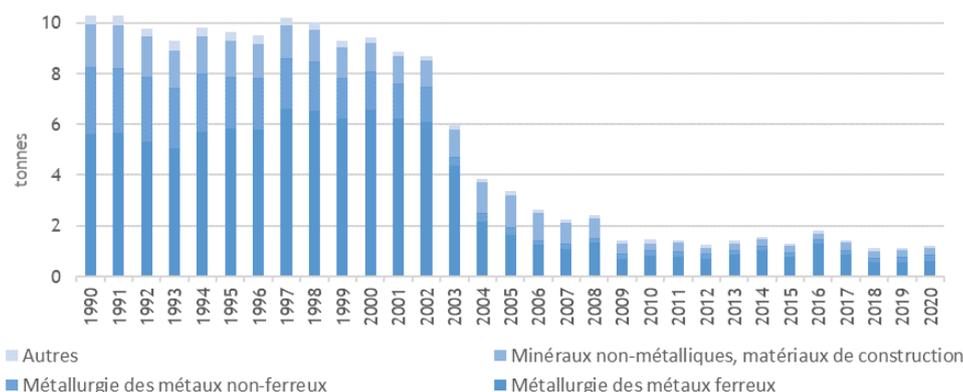
A noter

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 0,5 % en 1990 et 1,6% en 2020 et culminant à 4,1% en 2011-2012.

Tendance générale

Les émissions de cadmium ont baissé de 88% entre 1990 et 2020. La baisse des émissions sur la période 1990-2020 s'observe dans tous les secteurs. 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 2000 et 2005 (-58%).

Répartition des émissions de Cd du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)



Évolution récente

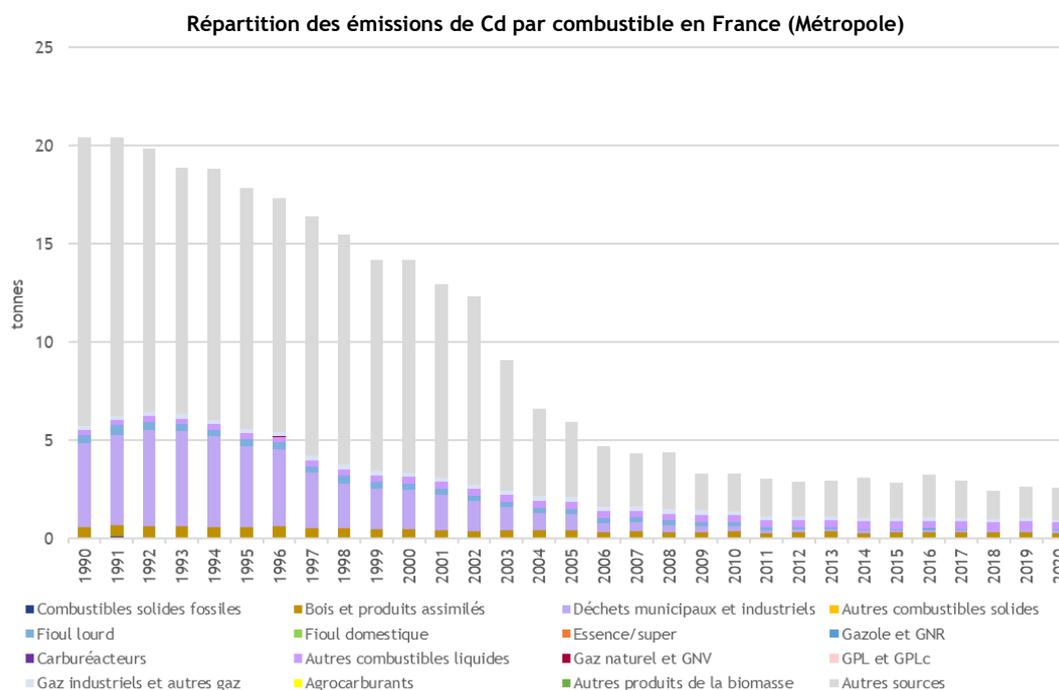
Plus récemment, entre 2008 et 2020, le secteur de l'industrie manufacturière a connu une forte réduction de ses émissions du fait :

- 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 liée aux combustibles



Les émissions énergétiques de cadmium représentent entre 22 et 43% des émissions totales de ce polluant selon l'année considérée. 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 accuse une diminution de 96% sur la période considérée. Celle-ci était prépondérante en 1990, représentant alors 74% des émissions énergétiques contre 17% seulement en 2020.

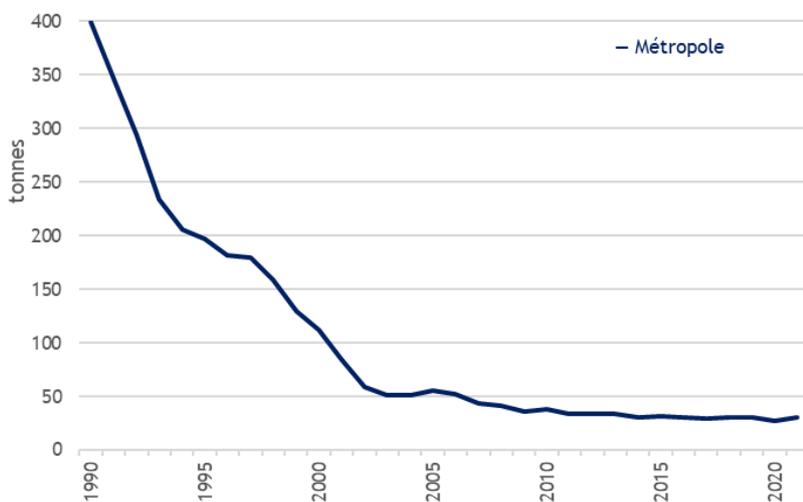
Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de cadmium en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 40 mg par habitant et par an contre 109 mg dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

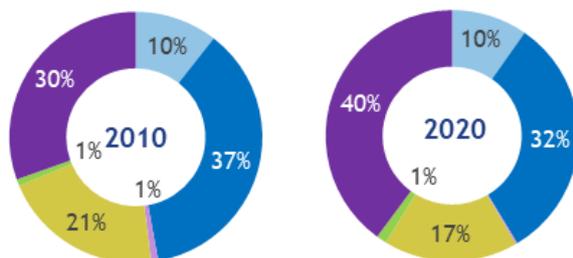
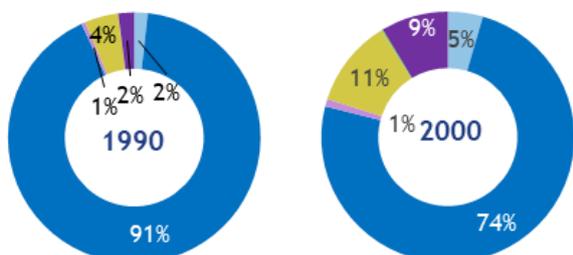
Emissions de chrome en bref

Cr

Evolution des émissions de chrome en France



Répartition des émissions de chrome en France



- Industrie de l'énergie
- Industrie manufacturière, construction
- Déchets (traitement centralisé)
- Usage et activités des bâtiments
- Agriculture et sylviculture
- Transports

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.

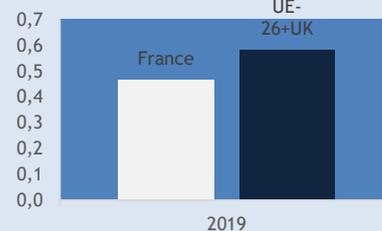
Le chrome hexavalent est classé cancérigène groupe 1 mais les autres formes ne le sont pas. Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

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 : entraînement dans l'atmosphère par mise en suspension de poussières, volcanisme, feux de forêts

Phénomènes associés
Le chrome s'accumule peu dans la chaîne alimentaire.

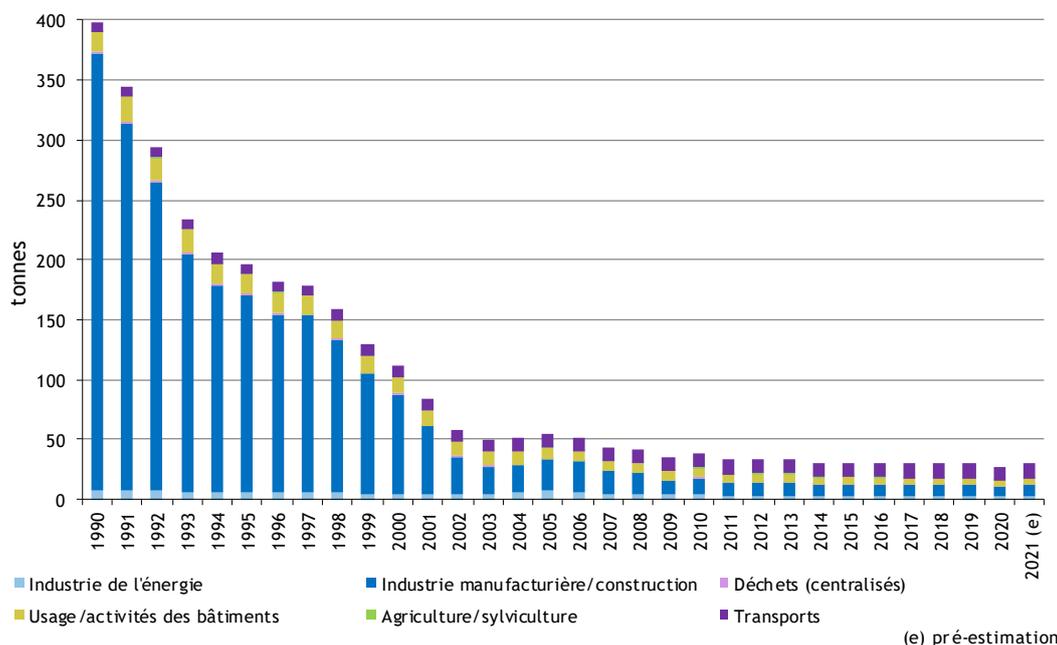
Effets
☠ Santé.
☠ Les composés du chrome VI sont classés cancérigènes catégorie I selon le CIRC. Les composés du chrome III ne le sont pas.

Emissions par habitant (g/hab)

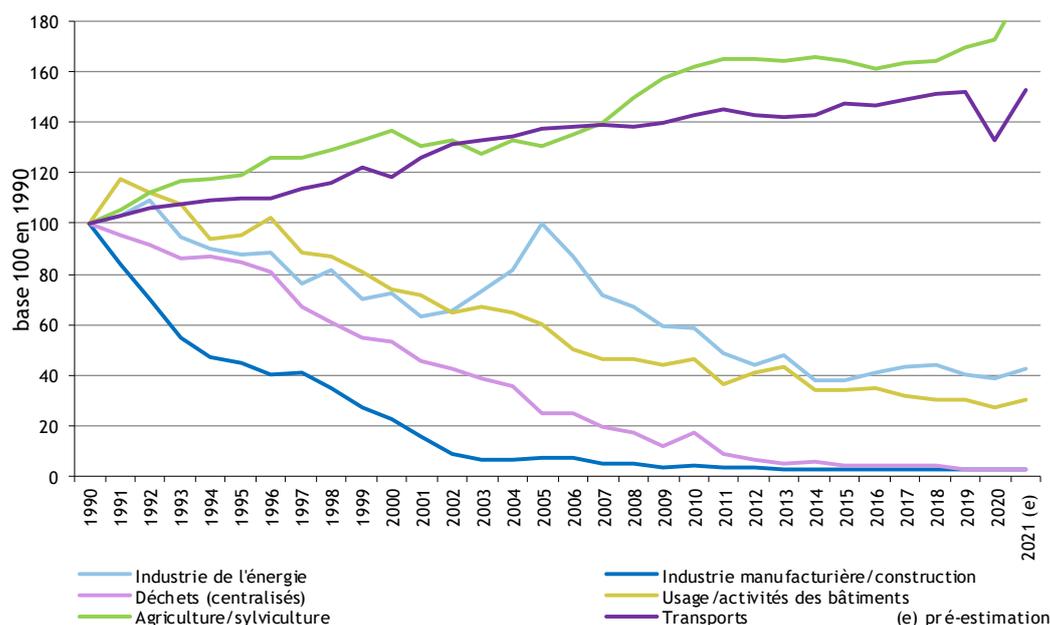


Chrome

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)



Emissions de Cr (t/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	6,9	6,0	5,0	6,9	4,0	2,6	2,8	2,9	3,0	2,8	2,6	2,9
Industrie manufacturière et construction	364,5	163,8	83,0	26,0	13,9	10,0	9,1	8,8	8,9	9,6	8,6	9,4
Traitement centralisé des déchets	2,0	1,7	1,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	17,0	16,2	12,5	10,2	7,9	5,8	5,9	5,4	5,1	5,1	4,7	5,1
Agriculture / sylviculture	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Transports	8,1	8,9	9,6	11,2	11,6	12,0	11,9	12,1	12,3	12,4	10,8	12,4
Transport hors total	0,8	0,7	0,9	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3
TOTAL national	398,8	196,8	111,5	55,1	38,1	30,8	30,1	29,7	29,8	30,3	27,1	30,3
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	398,8	196,8	111,5	55,1	38,1	30,8	30,1	29,7	29,8	30,3	27,1	30,3
TOTAL hors total	0,8	0,7	0,9	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3

Analyse

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.

Objectifs de réduction

Aucun objectif de réduction ou limite d'émission de chrome ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 123%.

A noter

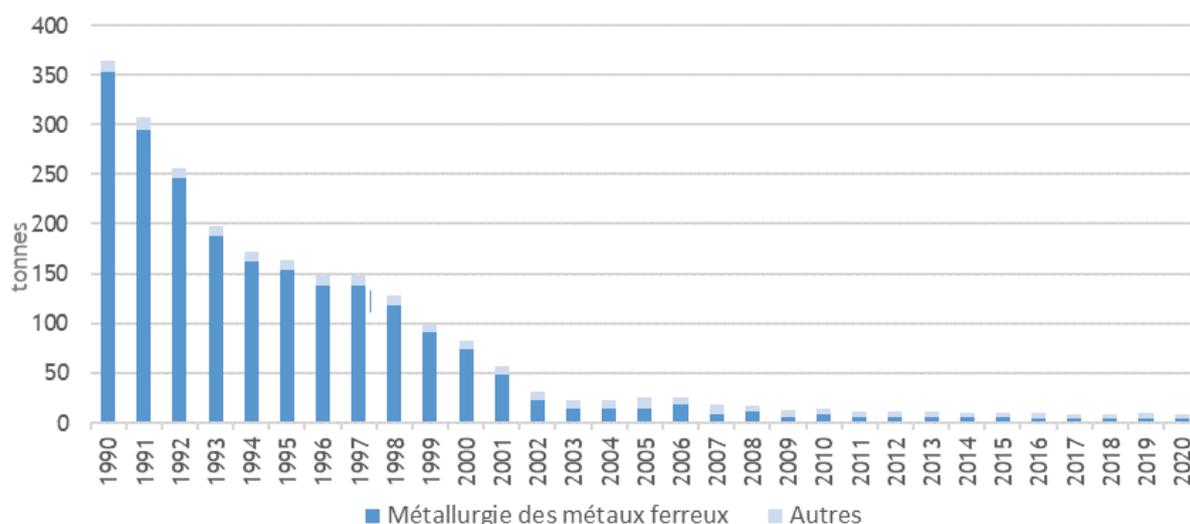
La part hors total des émissions de chrome provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative croissante des émissions du total national évoluant entre 0,2% en 1990 et 1,0% en 2020 et culminant à 2,6% en 2011.

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 été divisées environ par 15 entre 1990 et 2020.

Répartition des émissions de Cr du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)



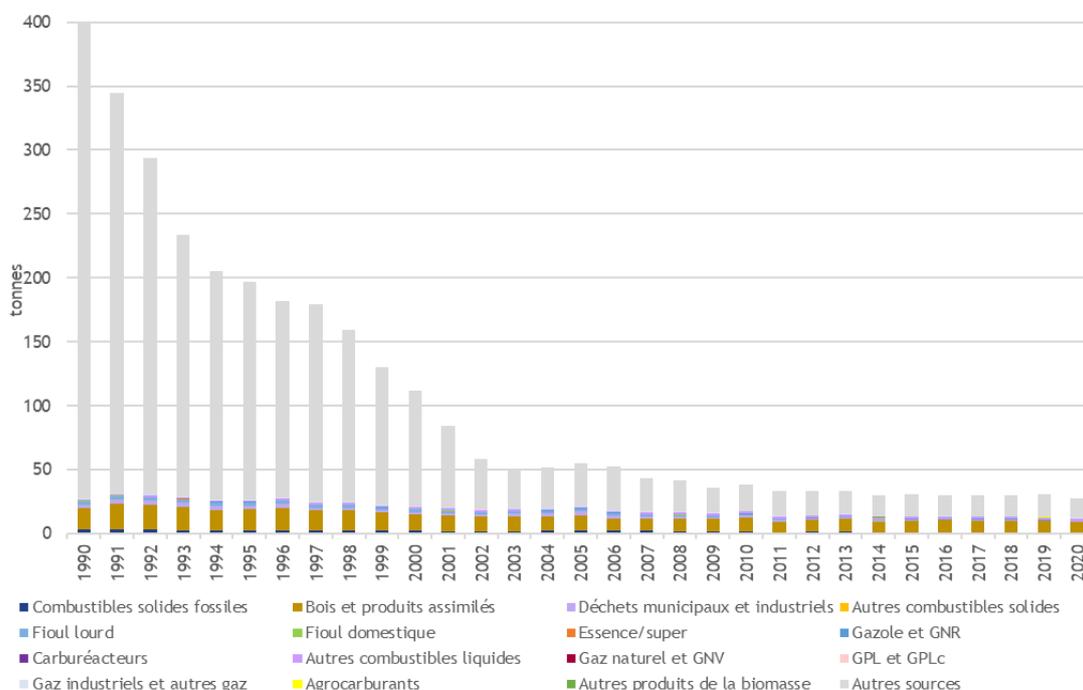
Évolution récente

Depuis 2002, les émissions de chrome sont inférieures à 60 t/an. Les niveaux des émissions de chrome (Cr) depuis 2014 sont les plus bas observés sur l'ensemble de la période (1990-2020), de l'ordre de 30 t/an, 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.

Part des émissions liée aux combustibles

Répartition des émissions de Cr par combustible en France (Métropole)



Les émissions énergétiques de chrome représentent une part relative croissante des émissions totales de ce polluant évoluant entre 7% en 1990 et 44% en 2020. A l'instar des émissions non-énergétiques, celles-ci diminuent depuis 1990, notamment la part de ces émissions liée aux CMS, bois et fioul lourd, qui accuse une diminution de 59% sur la période considérée.

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de chrome en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 465 mg par habitant et par an contre 580 mg dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

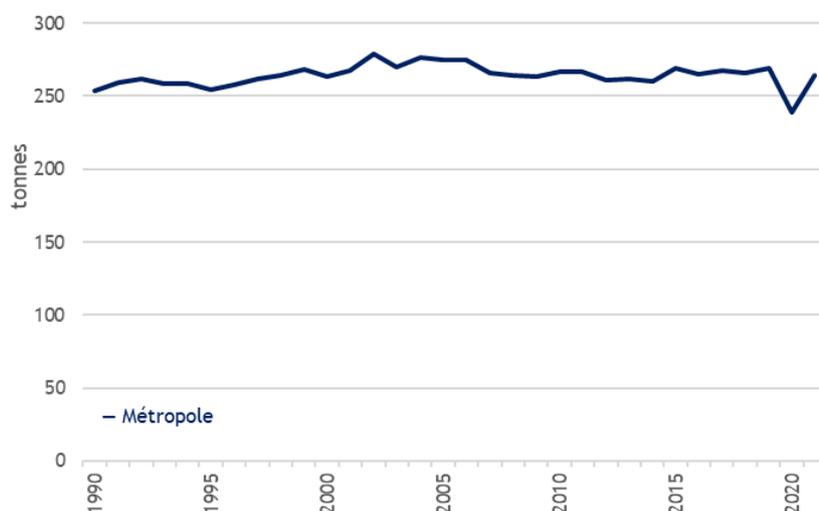
En savoir plus

Portail des substances chimiques de l'INERIS : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/668>.

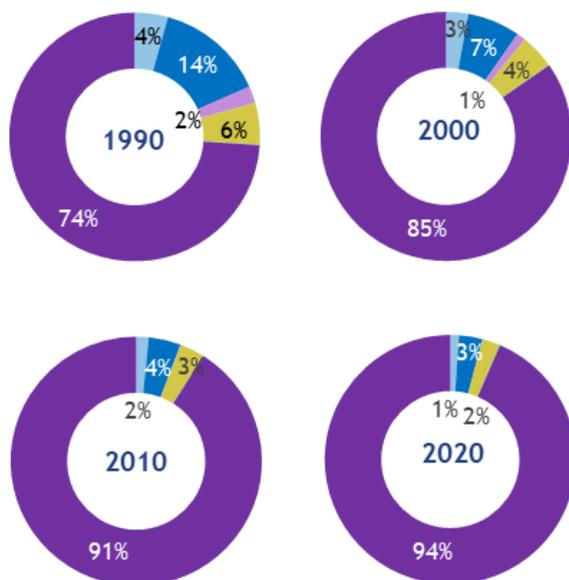
INERIS 2005a. Bisson M. et autres. Chrome et ses dérivés.

Emissions de cuivre en bref

Evolution des émissions de cuivre en France



Répartition des émissions de cuivre en France



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.

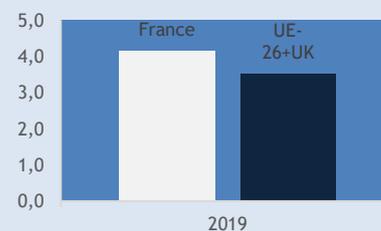
Phénomènes associés

Le sulfate de cuivre et le chlorure de cuivre sont très toxiques pour les organismes aquatiques.

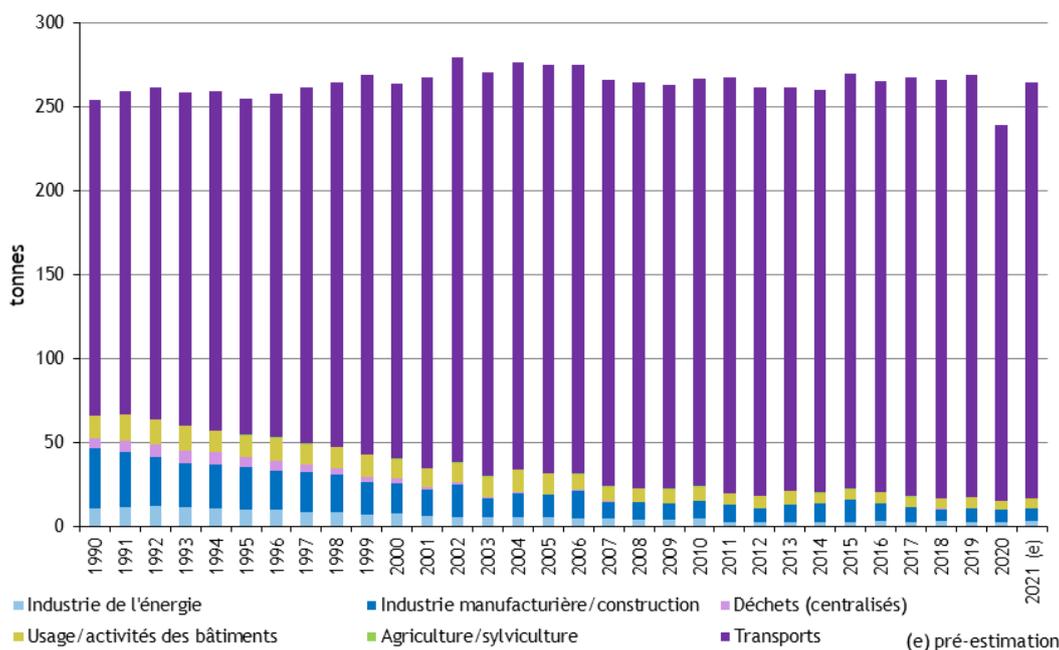
Effets

 Santé. La toxicité dépend des formes chimiques.

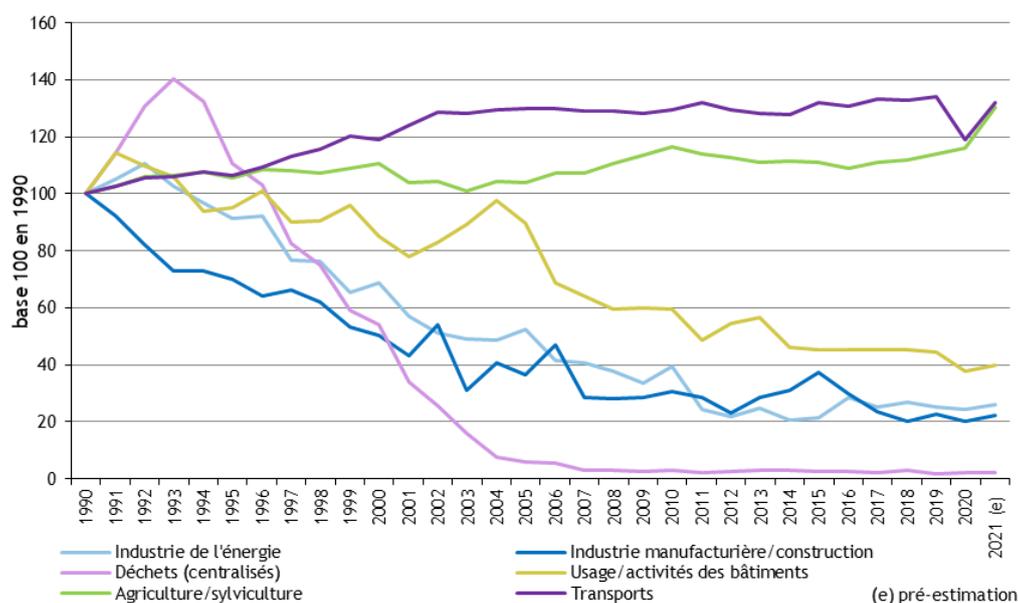
Emissions par habitant (g/hab)



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)



Emissions de Cu (t/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	10,9	10,0	7,5	5,7	4,3	2,3	3,1	2,8	2,9	2,8	2,6	2,8
Industrie manufacturière et construction	35,7	25,1	17,9	13,0	11,0	13,3	10,7	8,4	7,2	8,0	7,2	8,0
Traitement centralisé des déchets	5,6	6,1	3,0	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	13,7	13,0	11,7	12,3	8,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1	5,2	5,5
Agriculture / sylviculture	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
Transports	187,5	199,9	223,0	243,3	242,7	247,2	244,8	249,6	249,0	251,7	223,3	247,7
Transport hors total	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2
TOTAL national	253,6	254,4	263,4	274,9	266,6	269,5	265,3	267,3	265,8	269,0	238,8	264,5
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	253,6	254,4	263,4	274,9	266,6	269,5	265,3	267,3	265,8	269,0	238,8	264,5
TOTAL hors total	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2

Analyse

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.

Objectifs de réduction

Aucun objectif de réduction ou limite d'émission de cuivre ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 224%.

A noter

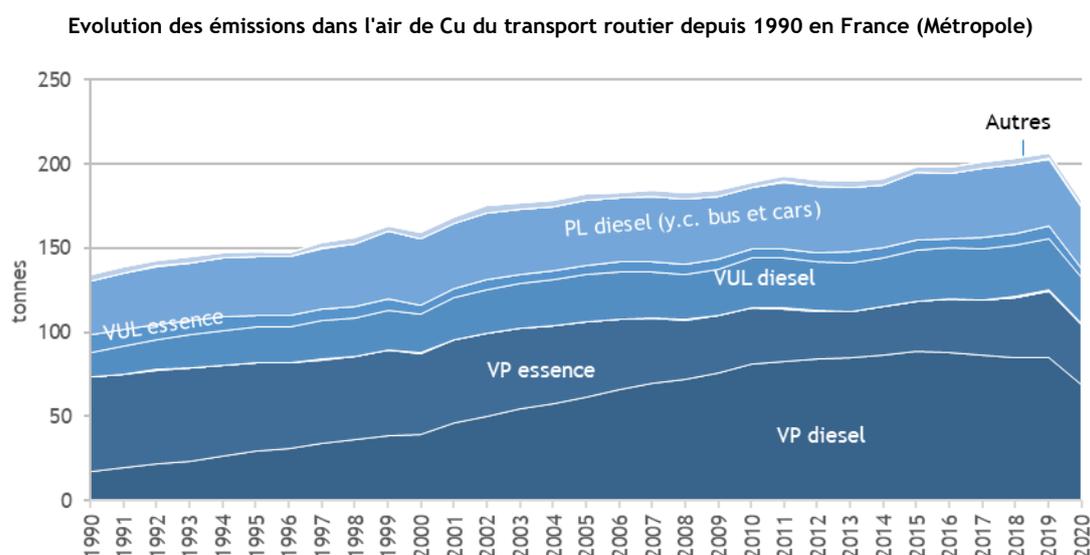
La part hors total des émissions de cuivre provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative des émissions du total national évoluant entre 0,1% et 0,3% selon l'année considérée.

Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) de cuivre n'est calculée.

Tendance générale

Les émissions de cuivre (Cu) en France métropolitaine ont une légère tendance à la hausse (-6%) sur la période 1990-2020. Cependant cette baisse est principalement liée à l'impact de la crise sanitaire et du confinement est visible sur l'évolution des émissions du cuivre entre 2019 et 2020 (-11%) tandis que les émissions de cuivre entre 1990 et 2019 suivent plutôt une tendance à la hausse (+6%).

Tous les secteurs contribuent de façon disparate aux émissions de cuivre. Cependant, deux secteurs prédominent : d'une part, le transport routier (75% des émissions nationales en 2020) et, d'autre part, les autres transports (19% du total national en 2020).



La hausse observée depuis 1990 dans les secteurs relatifs aux transports est due à l'accroissement du trafic routier. Celles-ci décrochent de façon conjoncturelle en 2020 en lien avec la baisse des usages des transports routier lors de la

crise sanitaire et des périodes de confinement. En revanche, plusieurs secteurs ont vu leurs émissions décroître sur la période 1990-2020 :

- 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.

Évolution récente

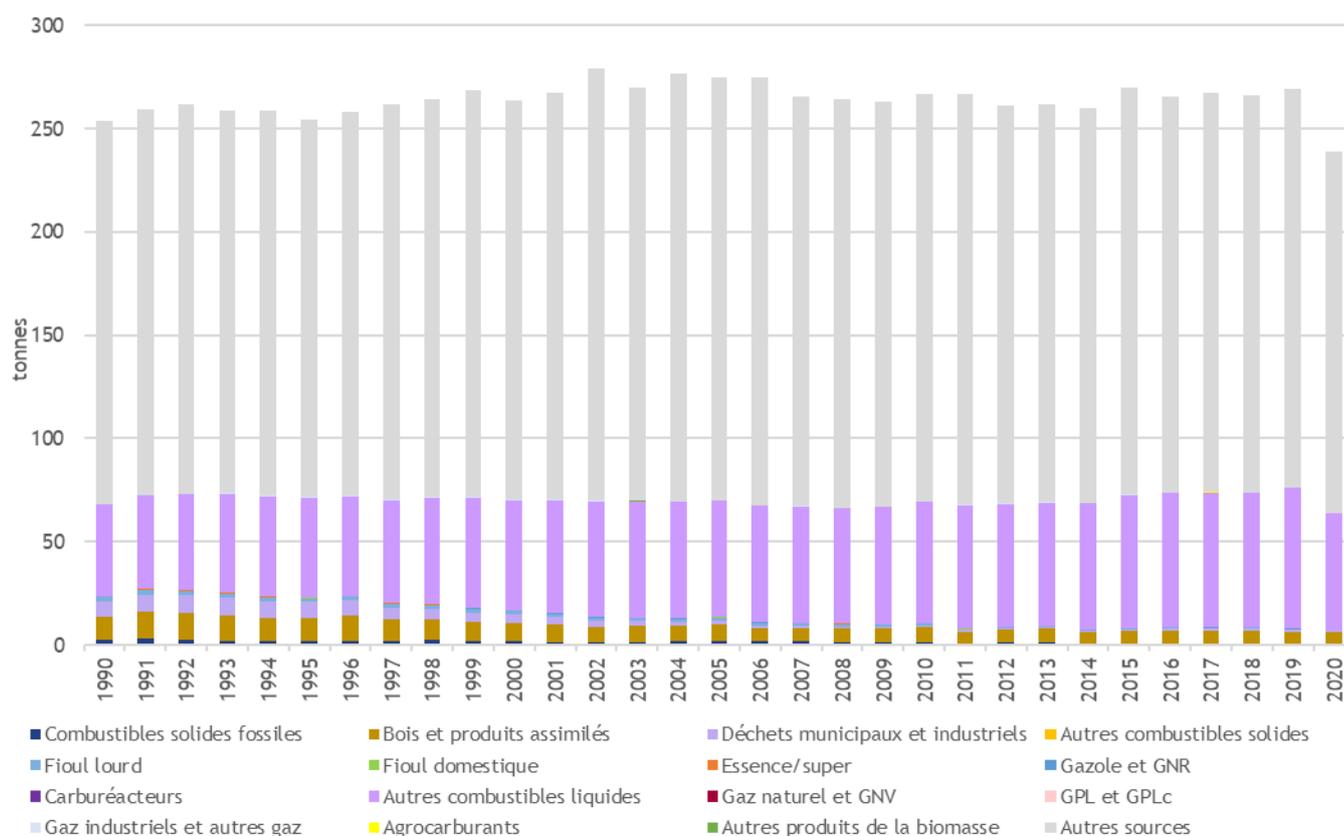
Depuis 2015, il n'est pas observé de fluctuations majeures des émissions de Cu, sauf en 2020 en lien avec la crise sanitaire. Le secteur des transports, principal contributeur, voit ses émissions augmenter légèrement depuis le début des années 1990.

Dans le secteur de l'industrie, les émissions sont relativement stables depuis 2007, en légère baisse.

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions énergétiques de cuivre représentent une part importante des émissions totales de ce polluant évoluant entre 25% et 27% selon les années. 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 27% sur la période considérée.

Répartition des émissions de Cu par combustible en France (Métropole)

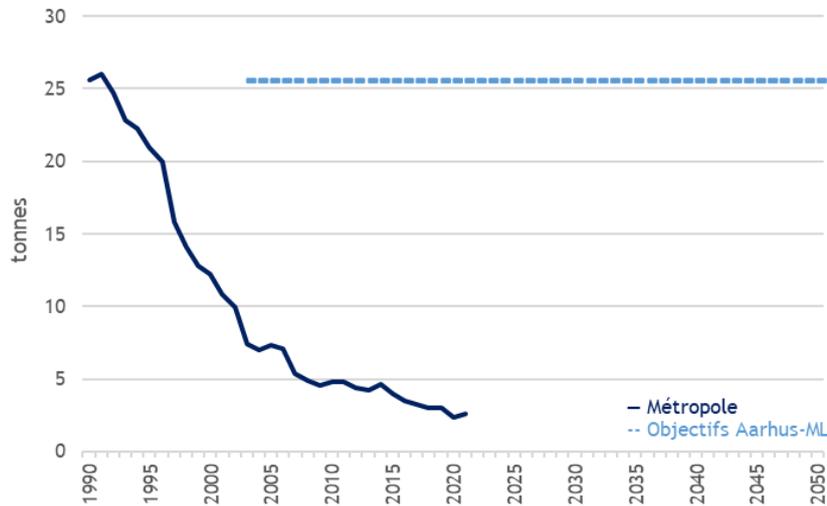


Et ailleurs ?

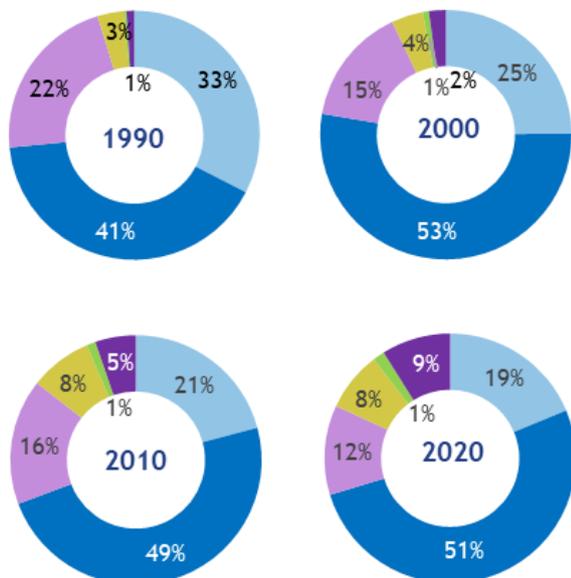
A titre de comparaison, les émissions de cuivre en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 4,1 g par habitant et par an contre 3,5 g dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

Emissions de mercure en bref

Evolution des émissions de mercure en France



Répartition des émissions de mercure en France



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.

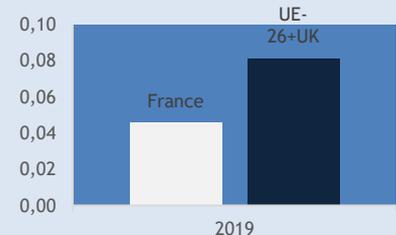
Phénomènes associés

Le mercure s'accumule dans la chaîne alimentaire. Il est très toxique (toxicité chronique) pour le milieu aquatique (classé H410) et présente une toxicité aiguë (classé H400) pour ce même milieu.

Effets

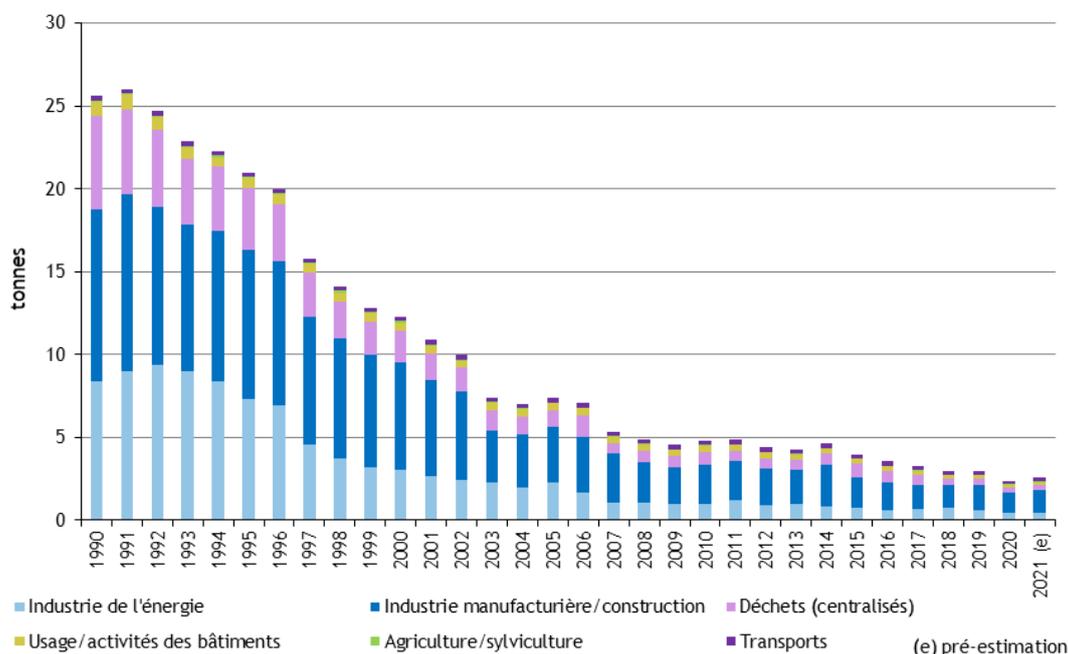
 Santé, reprotoxique de catégorie 1B (Substances présumées toxiques pour la reproduction humaine).

Emissions par habitant (g/hab)

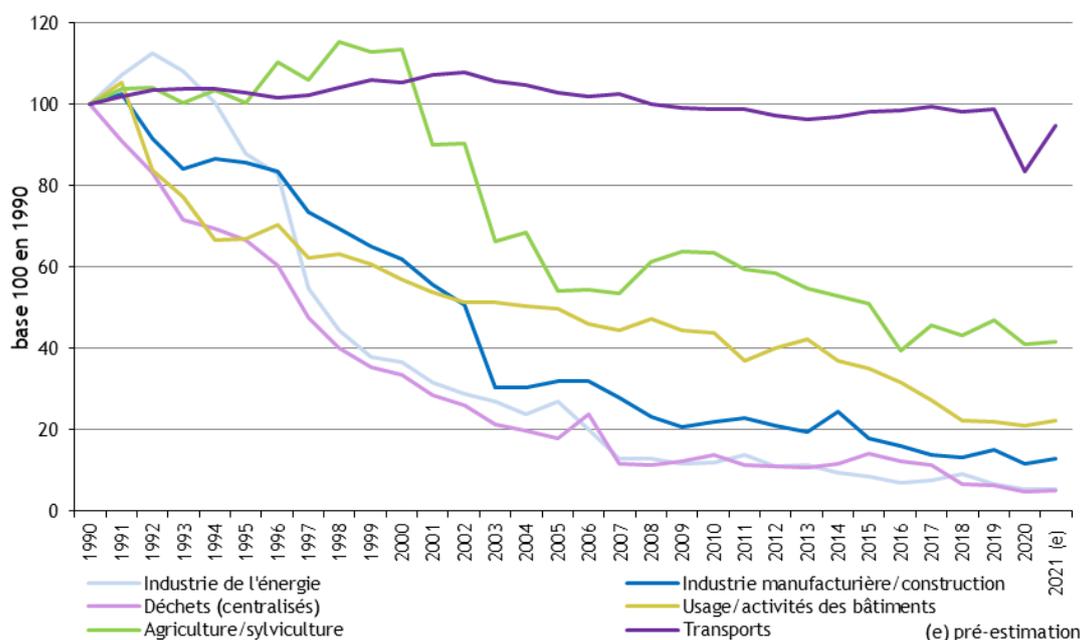


Mercure

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)



Emissions de Hg (t/an)
Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	8,3	7,3	3,0	2,3	1,0	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6	0,4	0,5
Industrie manufacturière et construction	10,4	9,0	6,5	3,4	2,3	1,9	1,7	1,4	1,4	1,6	1,2	1,4
Traitement centralisé des déchets	5,6	3,7	1,9	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	0,9	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Agriculture / sylviculture	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Transports	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Transport hors total	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
TOTAL national	25,6	21,0	12,3	7,4	4,8	4,0	3,5	3,3	3,0	3,0	2,4	2,6
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	25,6	21,0	12,3	7,4	4,8	4,0	3,5	3,3	3,0	3,0	2,4	2,6
TOTAL hors total	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1						

Analyse

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 émises par an. La France respecte cet objectif depuis 1992 puisque ses émissions de mercure sont globalement en baisse depuis cette année de référence. Aucun autre objectif plus contraignant ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

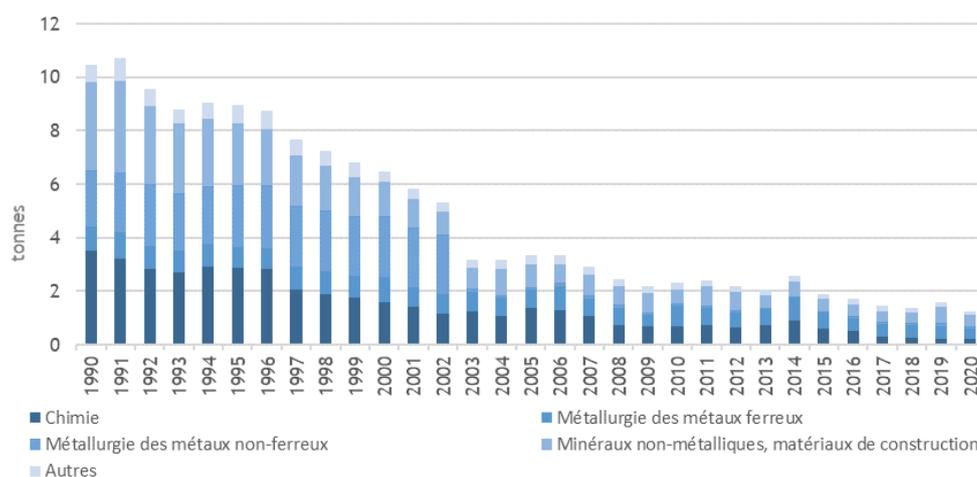
Pour une présentation très détaillée des méthodologies d'estimation des émissions, téléchargez la dernière édition de notre rapport méthodologique « Ominea ». Au global, on estime l'incertitude (en niveau) sur ce polluant à 32%

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 0,7% en 1990 et 2,8% en 2020. Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) de mercure n'est calculée.

Tendance générale

Répartition des émissions de Hg du secteur de l'industrie manufacturière et construction en France (Métropole)



Sur la période 1990-2020, les émissions de mercure de la France métropolitaine sont en baisse de 91%. 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).

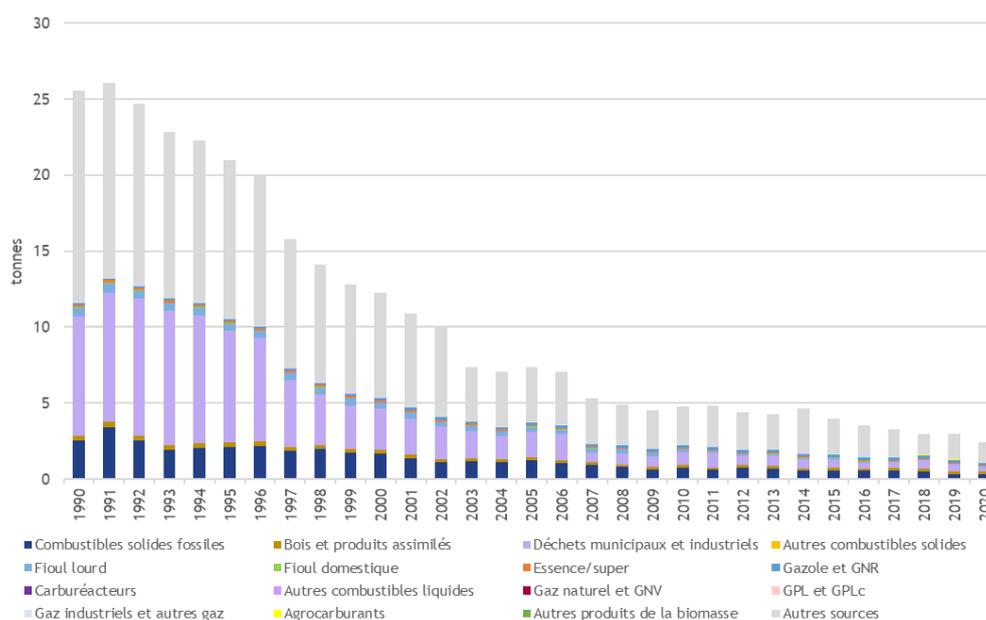
Évolution récente

Depuis 2008, les émissions en France métropolitaine se sont stabilisées. On observe toutefois une baisse modérée des émissions au niveau de l'industrie manufacturière de 68% sur la période 2008-2020 après un léger pic en 2014. L'impact de la crise sanitaire et des confinements est visible sur l'évolution des émissions de mercure entre 2019 et 2020 (-20%) particulièrement dans le secteur de l'industrie manufacturière. La lutte contre la pollution par le mercure s'organise au niveau international par l'intermédiaire de la Convention de Minamata, qui a été ratifiée le 15 juin 2017 par la France.

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions énergétiques de mercure représentent une part importante des émissions totales de ce polluant et évolue entre 37% et 53% selon l'année considérée. 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.

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 2019 à 46 mg par habitant et par an contre 81 mg dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

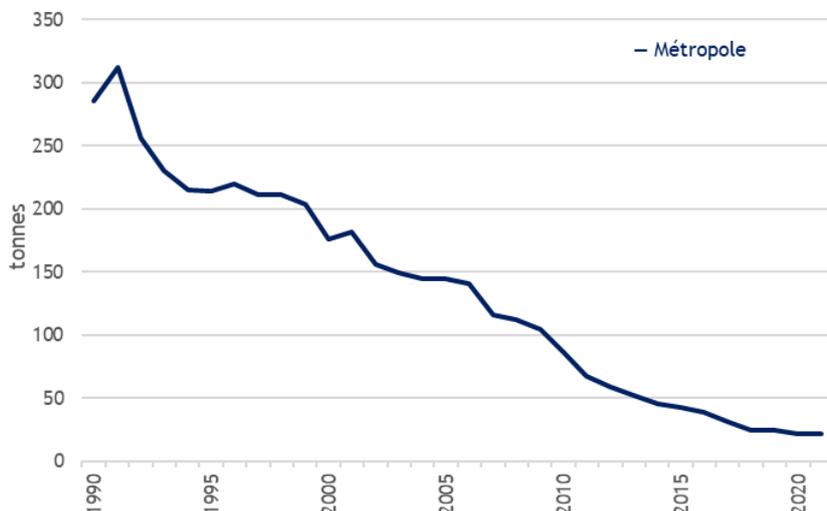
En savoir plus

Portail des substances chimiques de l'INERIS : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/1183>

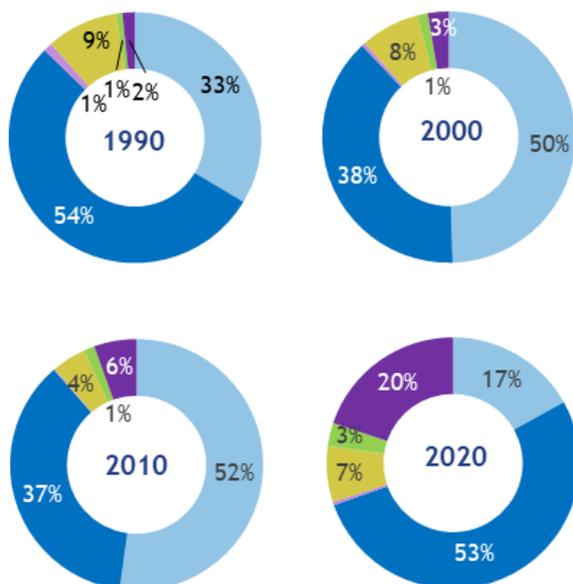
Ni

Emissions de nickel en bref

Evolution des émissions de nickel en France



Répartition des émissions de nickel en France



- Industrie de l'énergie
- Industrie manufacturière, construction
- Déchets (traitement centralisé)
- Usage et activités des bâtiments
- Agriculture et sylviculture
- Transports

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 (cat. 2B). Les composés inorganiques peuvent être extrêmement toxiques.

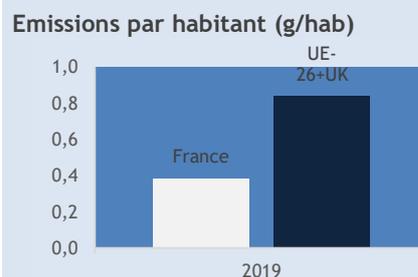
Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

Origine
Sources anthropiques : combustion de fioul lourd et d'autres produits pétroliers ; raffinage du pétrole ; abrasion des routes et usure des freins ; sidérurgie.

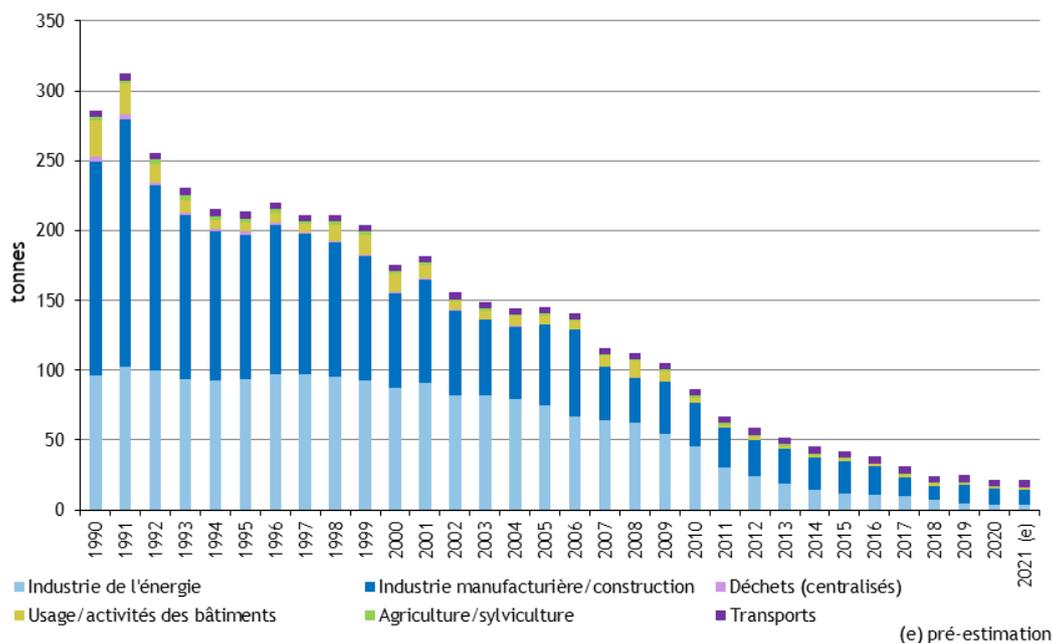
Sources naturelles : érosion des roches, activité volcanique.

Phénomènes associés
Le nickel présente une toxicité chronique de niveau 3 pour les organismes aquatiques (entraîne des effets néfastes à long terme (H 412)).

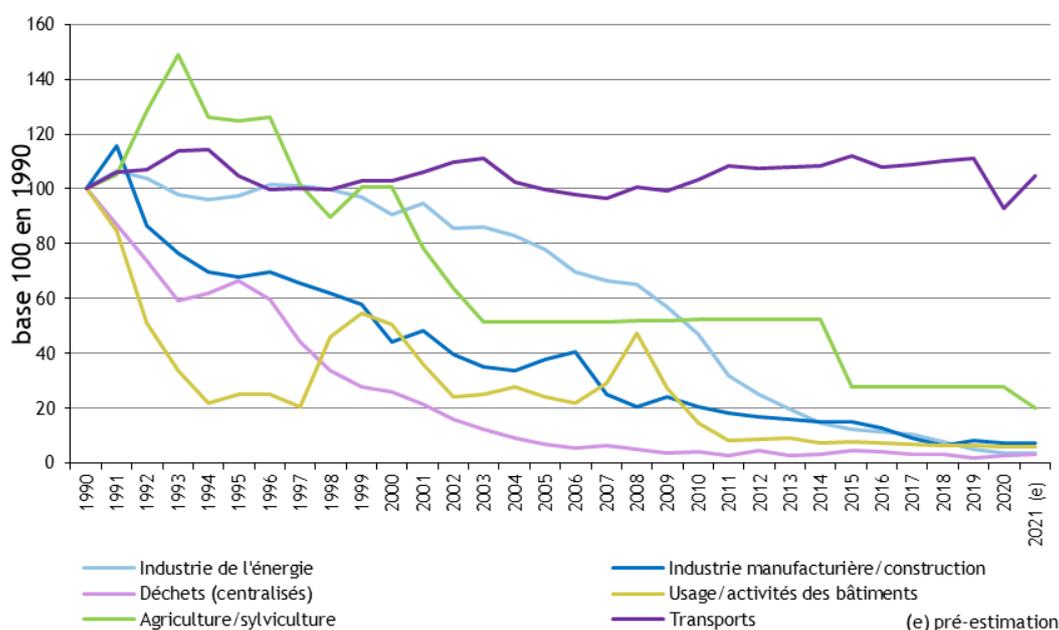
- Effets**
- Santé.
 - Classé cancérigène possible pour l'homme (2B) selon le CIRC



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)



Emissions de Ni (t/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	95,9	93,4	87,1	74,6	45,1	11,7	11,1	9,9	7,3	4,9	3,6	3,5
Industrie manufacturière et construction	153,5	103,8	67,6	58,1	31,6	22,7	19,8	13,7	9,7	12,6	11,2	10,9
Traitement centralisé des déchets	3,2	2,2	0,8	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	26,3	6,6	13,3	6,3	3,8	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7	1,5	1,6
Agriculture / sylviculture	2,3	2,9	2,3	1,2	1,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
Transports	4,6	4,8	4,7	4,5	4,7	5,1	4,9	5,0	5,0	5,1	4,2	4,8
Transport hors total	62,0	53,9	70,8	70,7	64,8	44,0	40,1	44,5	51,3	45,0	23,1	23,1
TOTAL national	285,8	213,6	175,9	145,0	86,5	42,4	38,4	31,0	24,4	24,9	21,3	21,3
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	285,8	213,6	175,9	145,0	86,5	42,4	38,4	31,0	24,4	24,9	21,3	21,3
TOTAL hors total	62,0	53,9	70,8	70,7	64,8	44,0	40,1	44,5	51,3	45,0	23,1	23,1

Analyse

Enjeux

Sources principales

Deux secteurs contribuent majoritairement aux émissions de Ni :

- 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.

Objectifs de réduction

Aucun objectif de réduction ou limite d'émission de nickel ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 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 22% en 1990 et jusqu'à dépasser le total national (108% en 2020). Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) de nickel n'est calculée.

Tendance générale

Le niveau des émissions de nickel (Ni) en 2020 correspond à une baisse de 93% sur l'ensemble de la période (1990-2020). 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).

Entre 1990 et 2020, 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'accroît en 2014 et 2015, du fait de la douceur exceptionnelle du climat ces années-là.

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

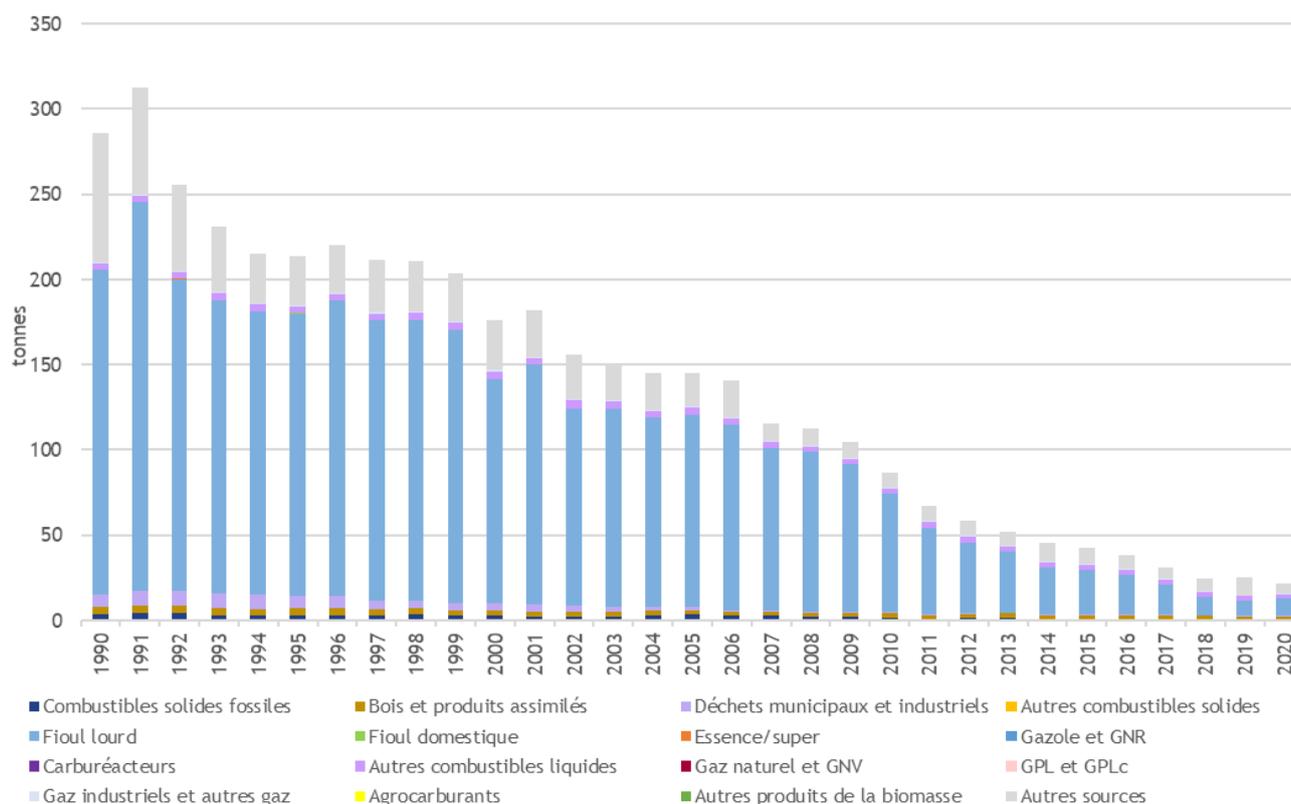
« hors total », correspondant au transport maritime international, sont plus élevées que les émissions du périmètre Secten depuis 2011.

La crise sanitaire et les périodes de confinement n'ont pas entraîné de baisse conjoncturelle notable des émissions de nickel entre 2019 et 2020.

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions énergétiques de nickel représentent la part majoritaire des émissions totales de ce polluant et évolue entre 59% 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.

Répartition des émissions de Ni par combustible en France (Métropole)



Et ailleurs ?

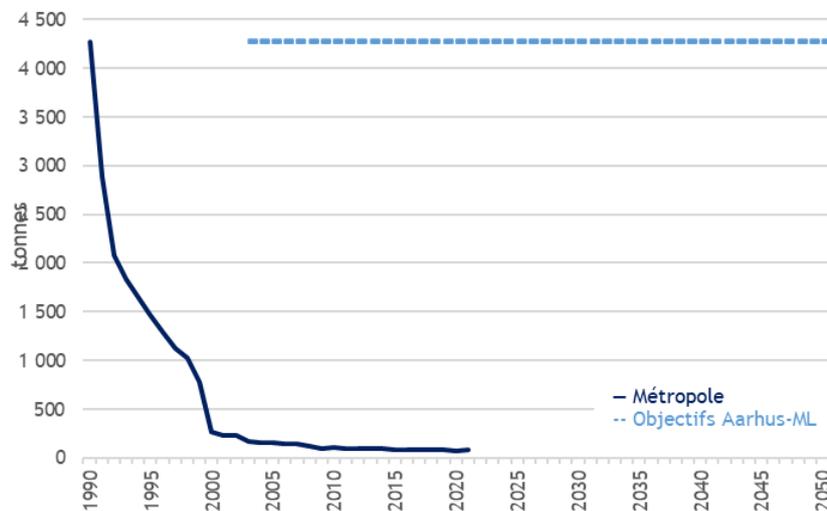
A titre de comparaison, les émissions de nickel en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 0,38 g par habitant et par an contre 0,84 g dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

En savoir plus

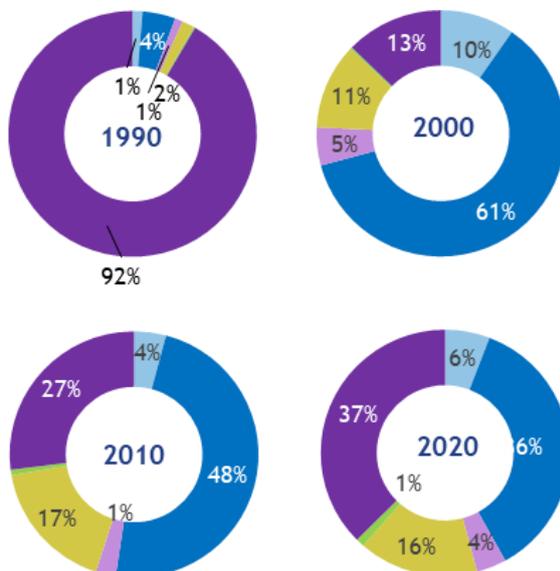
Portail des substances chimiques de l'INERIS : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/1301>

Emissions de plomb en bref

Evolution des émissions de plomb en France



Répartition des émissions de plomb en France



Pb

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.

Pour sa toxicité et son écotoxicité se reporter aux publications de l'Ineris (portail des substances chimiques).

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

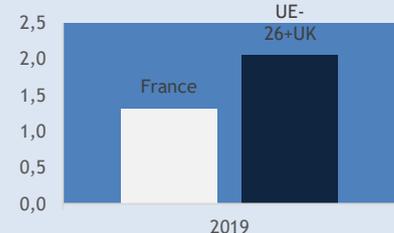
Forte toxicité chronique des composés du plomb, de niveau 1, pour les organismes aquatiques (H 410)

Effets

 Santé.

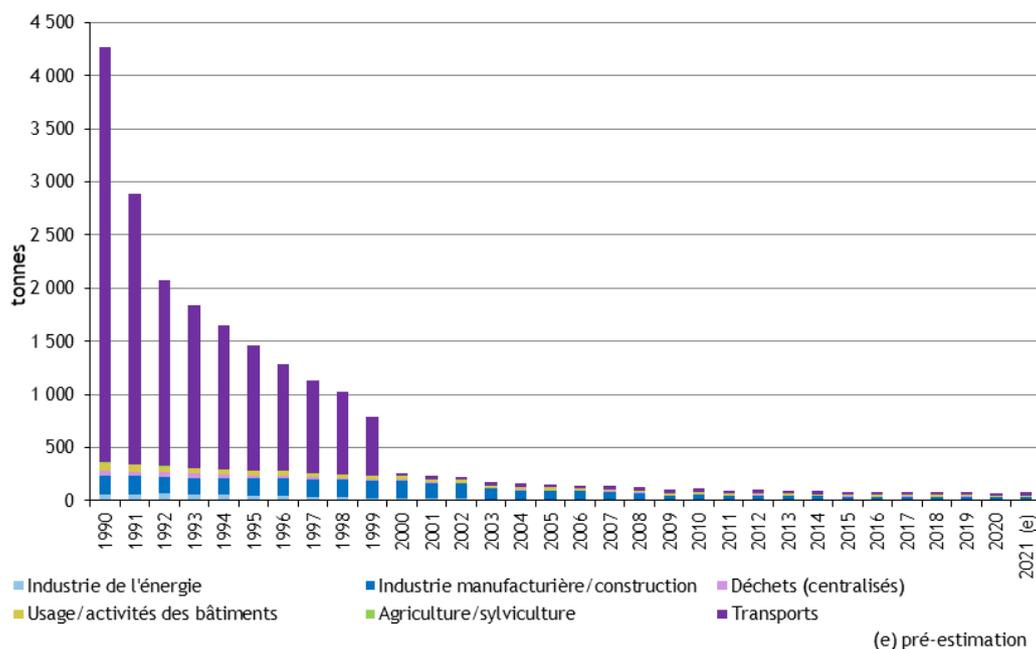
 Classé cancérigène possible pour l'homme (2B) selon le CIRC

Emissions par habitant (g/hab)

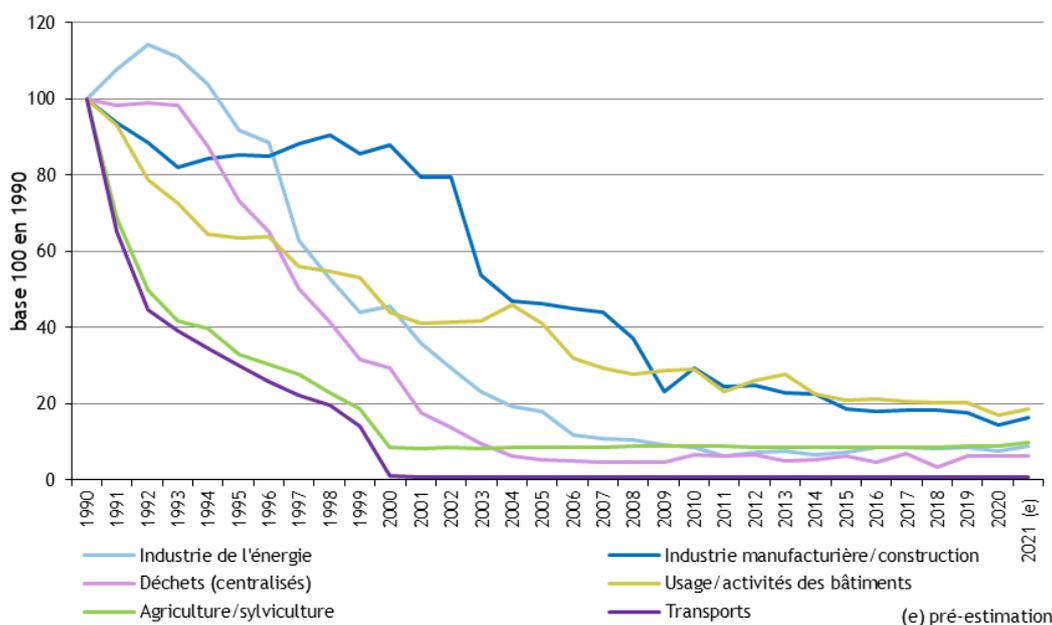


Plomb

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)



Emissions de Pb (t/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	55,6	51,1	25,4	10,0	4,6	4,0	4,7	4,7	4,6	4,7	4,2	4,9
Industrie manufacturière et construction	183,1	156,1	160,5	84,7	53,8	33,8	32,7	33,7	33,2	32,4	26,2	29,9
Traitement centralisé des déchets	44,7	32,7	13,1	2,4	2,9	2,8	2,1	3,0	1,4	2,8	2,8	2,8
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	67,0	42,6	29,4	27,4	19,3	14,0	14,1	13,8	13,6	13,4	11,3	12,4
Agriculture / sylviculture	9,1	3,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
Transports	3914,0	1177,6	33,3	29,4	30,1	30,4	30,1	30,6	31,1	31,2	27,1	31,8
Transport hors total	20,3	17,0	17,1	14,5	14,1	11,9	11,1	10,7	10,9	10,7	8,3	11,7
TOTAL national	4273,5	1463,1	262,6	154,7	111,5	85,8	84,5	86,5	84,7	85,4	72,4	82,6
UTCATF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emissions naturelles hors total	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL national	4273,5	1463,1	262,6	154,7	111,5	85,8	84,5	86,5	84,7	85,4	72,4	82,6
TOTAL hors total	20,3	17,0	17,1	14,5	14,1	11,9	11,1	10,7	10,9	10,7	8,3	11,7

Analyse

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 non 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 4 286 tonnes émises par an. La France respecte cet objectif depuis 1991 puisque ses émissions de plomb sont globalement en baisse depuis cette année.

Aucun autre objectif plus contraignant ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 123%.

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 0,5% en 1990 jusqu'à 11,5% en 2020, culminant à 17% en 2011. Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) de plomb n'est calculée.

Tendance générale

Les émissions de plomb (Pb) en France métropolitaine ont très fortement baissé (de près d'un facteur 59) sur la période 1990-2020.

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 2020).

En 2020, 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 apparaît 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 du secteur résidentiel/tertiaire sont imputables, en grande partie, à la consommation de bois dans le résidentiel. La baisse des émissions de ce secteur entre 1990 et 2020 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.

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 1990 et 2020 est liée à la mise en conformité progressive des UIDND avec les arrêtés du 25 janvier 1991 et du 20 septembre 2002.

Évolution récente

Sur la période 2010-2020, les émissions ont connu une baisse de 35%, imputable en grande partie à l'industrie manufacturière.

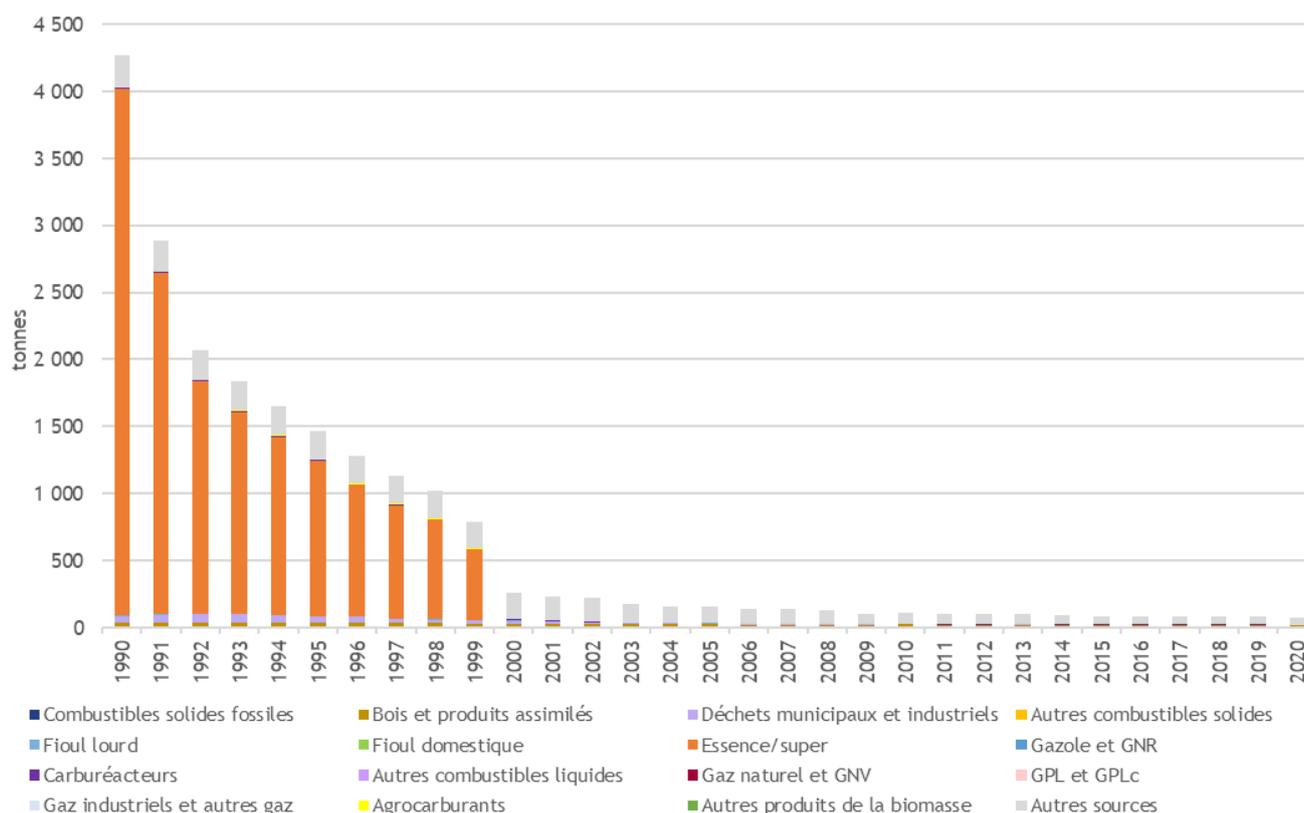
L'impact de la crise sanitaire et des confinements est visible sur l'évolution des émissions de plomb entre 2019 et 2020 (-15%) particulièrement dans le secteur de l'industrie manufacturière et dans celui des transports.

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 liée 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 correspondent à 29% des émissions totales en 2020. 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 carburateurs totalisent 94% de ces émissions en 2020.

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 2019 à 1,3 g par habitant et par an contre 2,05 g dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

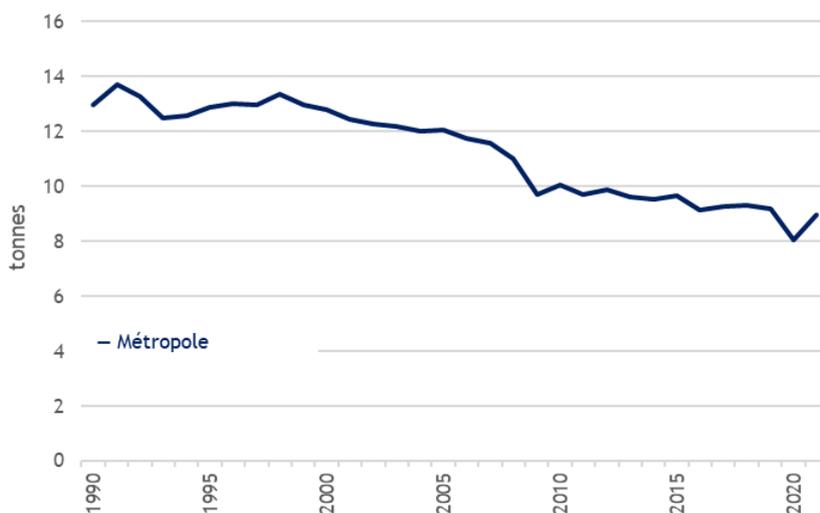
En savoir plus

Portail des substances chimiques de l'Ineris <https://substances.ineris.fr/fr/substance/1154>) et la fiche de données toxicologiques et environnementales)

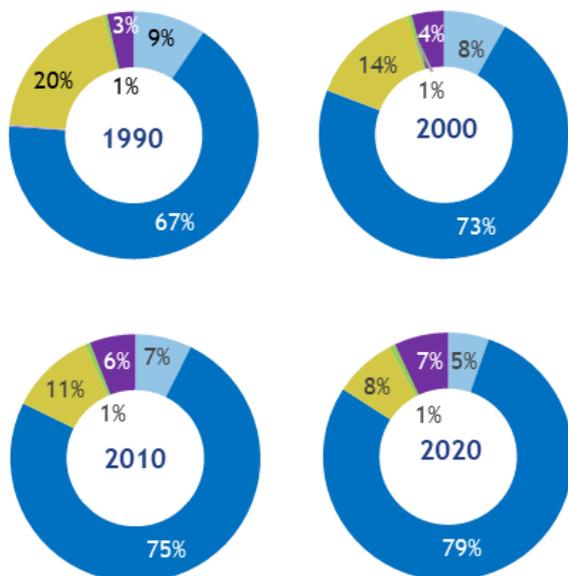
Se

Emissions de sélénium en bref

Evolution des émissions de sélénium en France



Répartition des émissions de sélénium en France



- Industrie de l'énergie
- Industrie manufacturière, construction
- Déchets (traitement centralisé)
- Usage et activités des bâtiments
- Agriculture et sylviculture
- Transports

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).

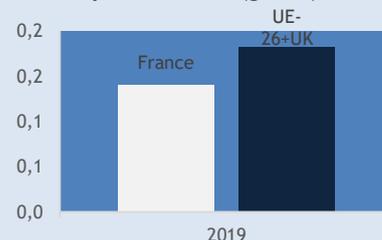
Origine
Sources anthropiques : combustion de fioul lourd, de carburants et de biomasse ; usure des plaquettes de frein et pneumatiques et abrasion des routes (transport routier) ; production de verre ; production de ciment ; métallurgie des métaux ferreux ; engrais chimiques.

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)

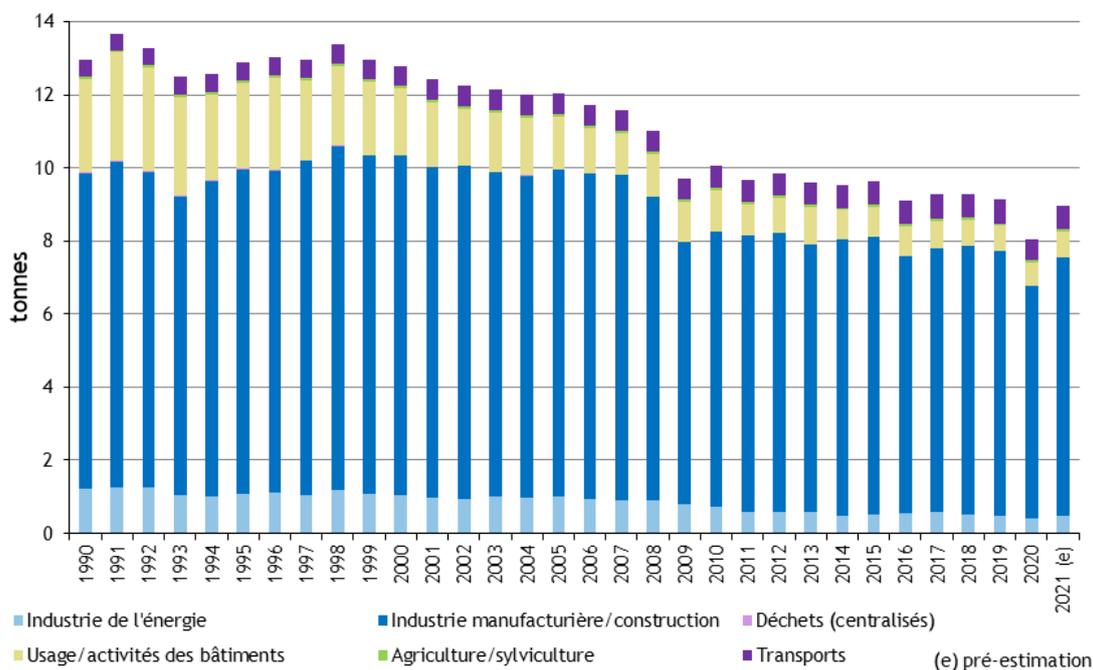
Effets
En exposition chronique, effets sur les organismes aquatiques

Emissions par habitant (g/hab)

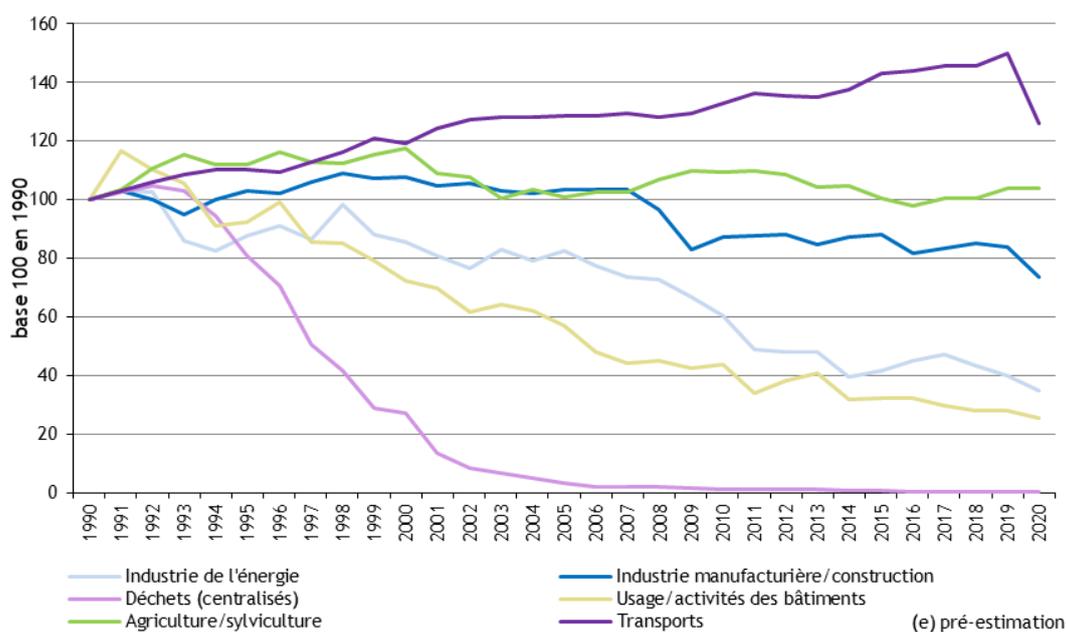


Sélénium

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)



Emissions de Se (t/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	1,2	1,1	1,0	1,0	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5
Industrie manufacturière et construction	8,6	8,9	9,3	8,9	7,5	7,6	7,0	7,2	7,3	7,2	6,3	7,1
Traitement centralisé des déchets	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	2,6	2,4	1,8	1,5	1,1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7
Agriculture / sylviculture	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Transports	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6
Transport hors total	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
TOTAL national	12,9	12,9	12,8	12,0	10,0	9,6	9,1	9,3	9,3	9,2	8,0	9,0
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	12,9	12,9	12,8	12,0	10,0	9,6	9,1	9,3	9,3	9,2	8,0	9,0
TOTAL hors total	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1

Sélénium

Analyse

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.

Objectifs de réduction

Aucun objectif de réduction ou limite d'émission de sélénium ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 78%.

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 1,5% et 4% entre 1990 et 2020. Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) de sélénium n'est calculée.

Tendance générale

Les émissions de sélénium (Se) en 2020 sont en baisse de 38% 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 (78% en moyenne depuis 2010).

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 entre 1990 et 2020 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.

Évolution récente

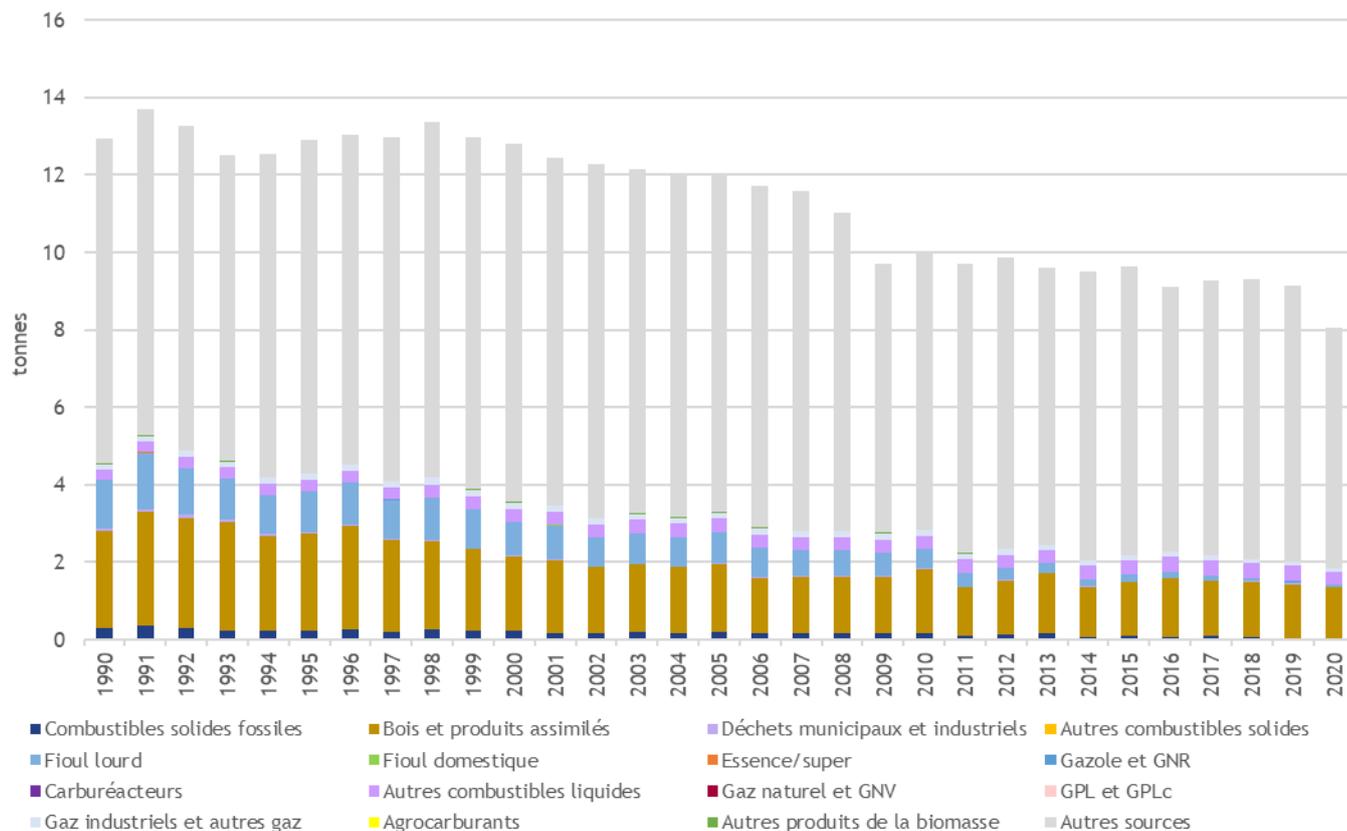
Lors des dernières années, les émissions suivent principalement la même évolution que celle de la production de verre.

Depuis 2010, les émissions de sélénium sont en légère baisse. L'impact de la crise sanitaire et des confinements est visible sur l'évolution des émissions de sélénium entre 2019 et 2020 (-12%) particulièrement dans le secteur de l'industrie manufacturière.

Part des émissions liée aux combustibles

Les émissions énergétiques de sélénium représentent une part importante des émissions totales de ce polluant évoluant entre 35% (1990) et 23% (2020) de ce total. Les combustibles bois et fioul lourd sont responsables de la majorité de ces émissions énergétiques (82% en 1990 contre 75% en 2020) et leurs émissions ont diminué de 59% sur la période considérée.

Répartition des émissions de Se par combustible en France (Métropole)



Et ailleurs ?

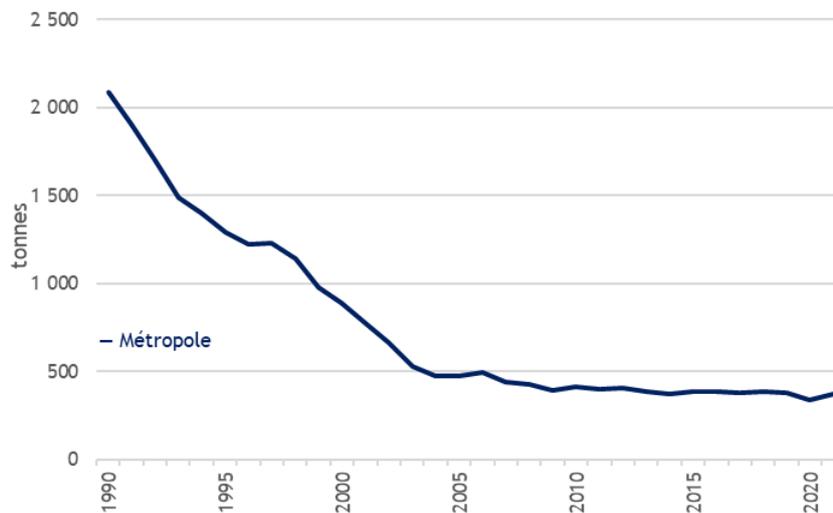
A titre de comparaison, les émissions de sélénium en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 141 g par habitant et par an contre 183 g dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

En savoir plus

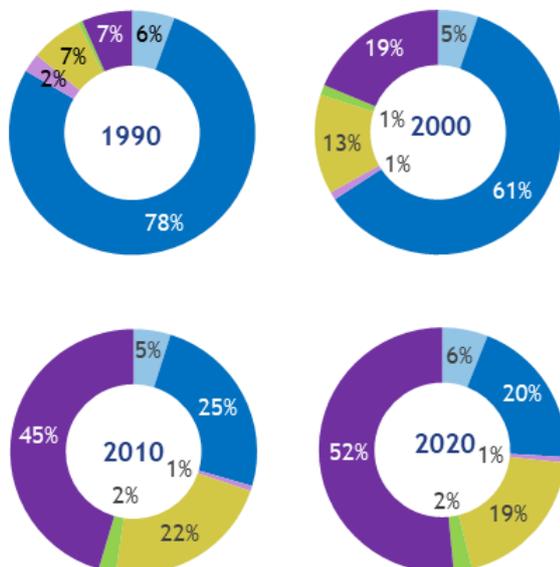
Portail des substances chimiques de l'INERIS <https://substances.ineris.fr/fr/substance/1659>

Emissions de zinc en bref

Evolution des émissions de zinc en France



Répartition des émissions de zinc en France



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.

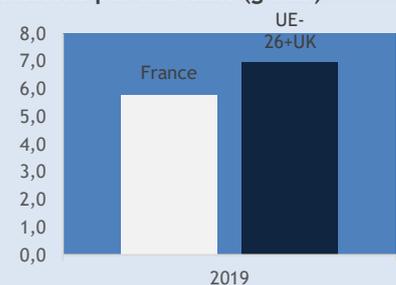
Phénomènes associés

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 (H410).

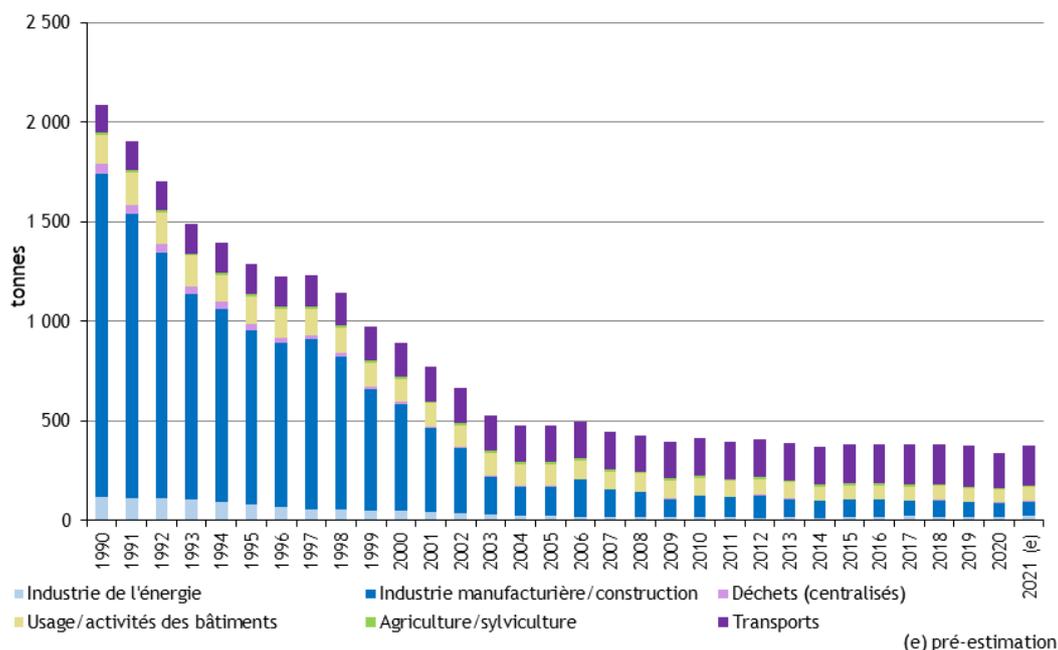
Effets

 Santé

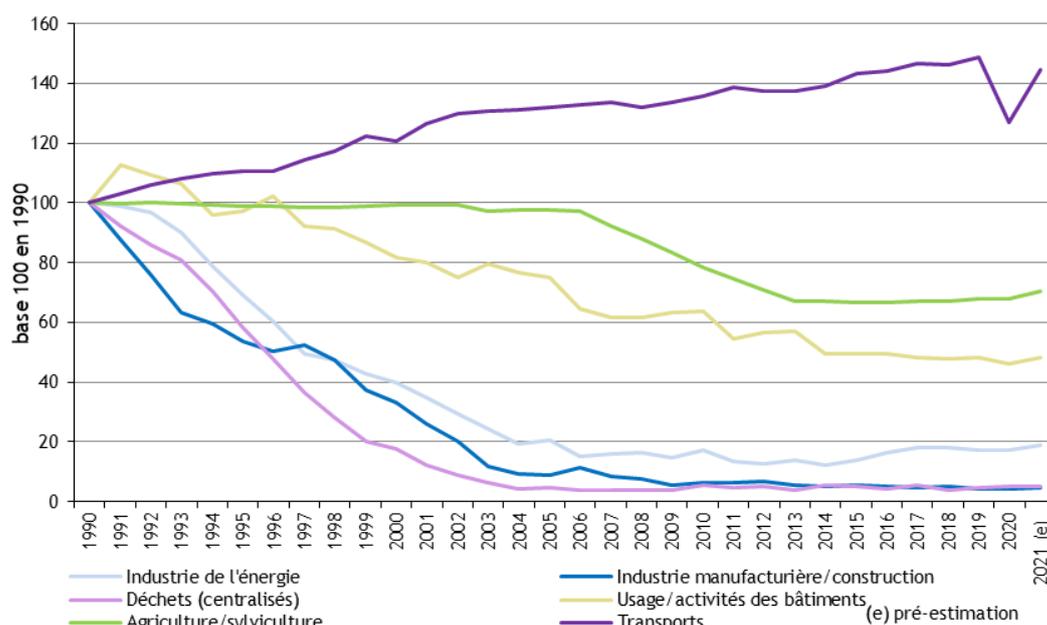
Emissions par habitant (g/hab)



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)



Emissions de Zn (t/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (e)
Industrie de l'énergie	116,6	80,6	46,6	24,1	20,0	16,1	19,3	21,3	20,9	20,2	20,3	22,2
Industrie manufacturière et construction	1 624	874	540	147	102	89	85	77	81	72	68	74
Traitement centralisé des déchets	52,1	30,4	9,2	2,5	2,8	2,6	2,3	2,9	2,0	2,4	2,6	2,6
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	143,3	139,2	117,0	107,4	91,0	70,7	71,1	69,2	68,6	68,9	66,1	69,0
Agriculture / sylviculture	12,1	11,9	12,0	11,8	9,5	8,1	8,0	8,1	8,1	8,2	8,2	8,5
Transports	138,0	152,8	166,7	182,2	187,3	197,9	198,8	202,1	201,9	205,1	175,0	199,5
Transport hors total	2,2	1,9	2,5	2,5	2,3	1,6	1,4	1,6	1,8	1,6	0,8	0,8
TOTAL national	2086,3	1288,5	891,0	475,2	412,5	384,2	384,7	380,5	383,0	376,7	339,9	375,7
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national	2 086	1 289	891	475	413	384	385	380	383	377	340	376
TOTAL hors total	2,2	1,9	2,5	2,5	2,3	1,6	1,4	1,6	1,8	1,6	0,8	0,8

Analyse

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.

Objectifs de réduction

Aucun objectif de réduction ou limite d'émission de sélénium ne doit être respecté par la France.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 à 90%.

A noter

La part hors total des émissions de zinc provient uniquement du transport maritime international et représente une proportion relative faible et quasi-constante des émissions du total national (inférieur à 0,6%). Aucune émission naturelle (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) de zinc n'est calculée.

Tendance générale

En 2020, le transport routier est le secteur prédominant dans les émissions de Zn de la France métropolitaine (50%), suivi par l'usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires (19%) et les industries manufacturières et la construction (20%).

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. Cette dernière est d'ailleurs majoritaire dans les émissions imputées au transport routier (81% en 2020). Le niveau des émissions fluctue relativement peu sur la période 1990-2020. Depuis 2010, on observe une légère tendance à la hausse.

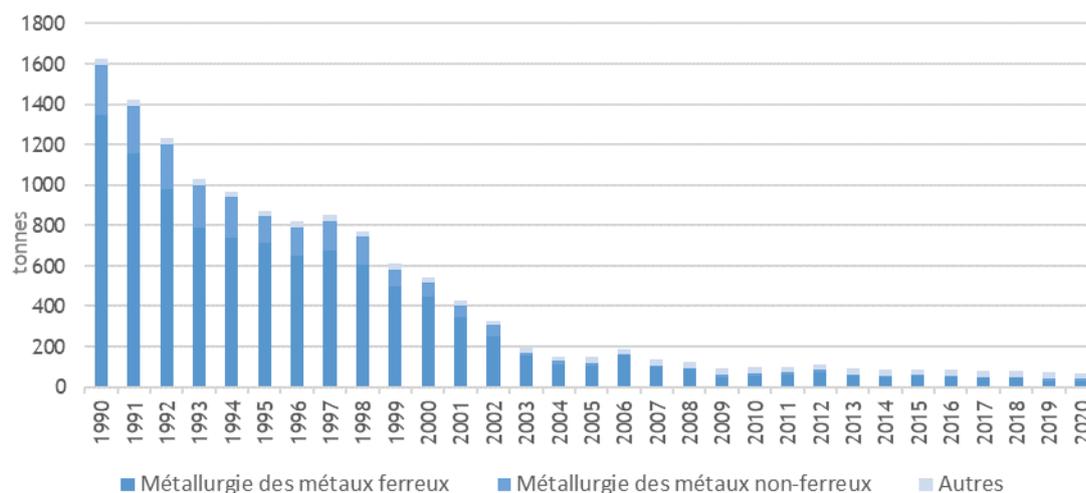
Dans l'industrie manufacturière, la métallurgie des métaux ferreux est prédominante (41%), en particulier du fait des émissions induites par les aciéries électriques. La baisse des émissions dans ce secteur entre 1990 et 2020 s'explique par l'efficacité des techniques de réduction mises en place dans 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 (plus d'un tiers des émissions de ce secteur en 2020) et par le chauffage urbain (également plus d'un tiers des émissions). Dans ce secteur, la réduction importante des émissions de Zn sur l'ensemble de la période 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 2020, les émissions de Zn ont diminué d'un facteur supérieur à 6. 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)



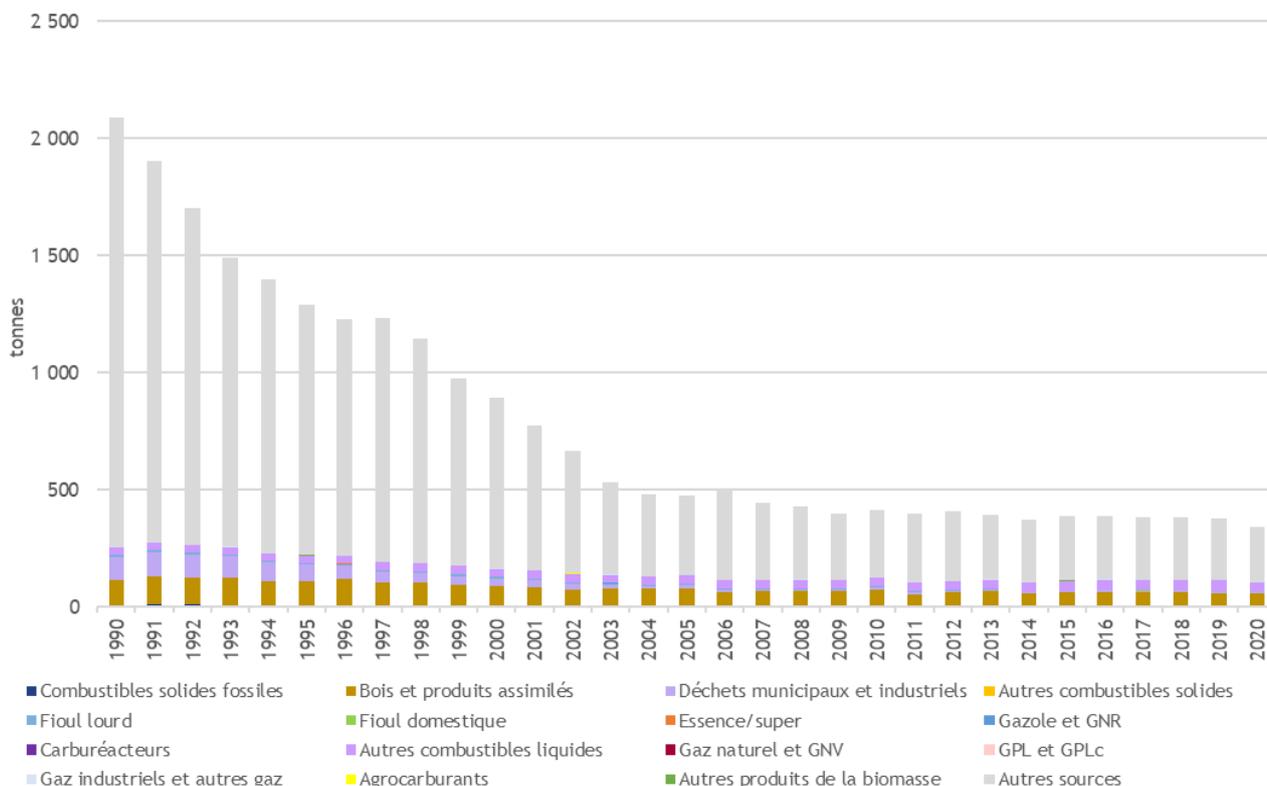
Évolution récente

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 (-10 %) particulièrement dans le secteur des transports.

Part des émissions liée aux combustibles

Répartition des émissions de Zn par combustible en France (Métropole)



Les émissions énergétiques de zinc représentent une faible part des émissions totales de ce polluant en 1990 (12%) et dont la proportion a augmenté relativement avec la baisse des émissions non-énergétiques pour atteindre 30% en 2020.

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 2020) et leurs émissions ont diminué de 57% sur la période considérée.

Et ailleurs ?

A titre de comparaison, les émissions de zinc en France métropolitaine sont estimées en 2019 à 5,8 g par habitant et par an contre 7,0 g dans l'Union Européenne (UE-26+UK) en moyenne (table NFR UE éd. 2021).

En savoir plus

Impact sur la santé : [INRS](#)

Références du chapitre

AARHUS 2012. Protocole à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, de 1979, relatif aux métaux lourds.

<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1998.Heavy.Metals.f.pdf>

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 2021. 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, 2019.

MERA 2022 - <https://www.lcsqa.org/fr/actualite/mera-observatoire-national-mesure-evaluation-zone-rurale-pollution-atmospherique-longue-di> (site accédé en avril 2022).

MINAMATA 2021 - Site de la Convention de Minamata accédé le 30 juin 2021.

<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)

Citepa. Rapport Secten édition 2022

Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France

Polluants organiques persistants

Rédaction

Vincent MAZIN

Benjamin CUNIASSE

► [Télécharger les données associées au chapitre sur citepa.org/fr/secten](https://citepa.org/fr/secten)

Sommaire du chapitre

Définition	250
Dioxines et furannes (PCDD-F)	253
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	259
Polychlorobiphényles (PCB).....	267
Hexachlorobenzène (HCB)	273

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 chaîne alimentaire),
- elles sont **toxiques** (nocives pour les écosystèmes, les animaux et l'homme, elles peuvent perturber le système immunitaire et reproductif et être cancérogènes),
- 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 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. 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, naphthalènes polychlorés...).

De manière non-intentionnelle, les POPs 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.

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 ($C_{12}H_{10-x}Cl_x$). 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 (C_6Cl_6). C'est un fongicide. Il est également émis par des processus de combustion en même temps que les dioxines et furannes.

- 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 quatre 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)pérylène,
 - 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/furannes (PCDD-PCDF)**

Les dioxines et les furannes 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 furannes 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 cancérogènes et dégrader les systèmes immunitaires et reproductifs.... Les références suivantes donnent de bonnes synthèses sur la toxicologie des divers POPs :

- 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>

- L'organisation mondiale de la Santé est également une source essentielle : <https://www.who.int/ipcs/assessment/fr/>

Suivi des POP 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 POP sont réalisées par l'observatoire national de Mesure et d'Évaluation en zone rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance. Deux stations de fonds ruraux mesurent des POP.

Les données sont reportées chaque année à AirBase (the European Air quality dataBase), à l'EMEP et sont visualisables sur le [site EBAS](#) (MERA 2019).

Concentrations observées dans l'environnement

La figure 1 suivante présente les concentrations de benzo(a)-pyrène mesurées en Europe.

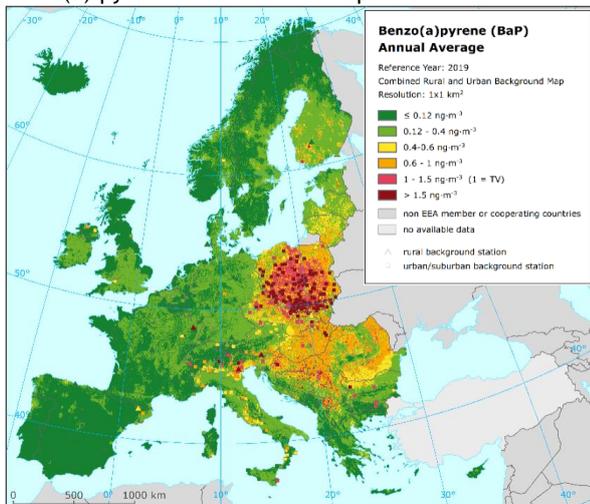


Figure 1 : concentrations de benzo(a)-pyrène mesurées en 2019 en Europe (AEE Benzo(a)pyrene annual mapping 2021)

En 2019, ce sont encore plus d'une dizaine d'Etats membres qui mesurent des concentrations supérieures à la valeur limite européenne de 1 ng/m³, 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).

La valeur recommandée par l'OMS de 0,12 ng/m³ est dépassée dans au moins une station de chaque Etat membre sauf aux Pays Bas (AEE Benzo(a)pyrene annual mapping 2021).

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 2 suivante présente par exemple, les concentrations de dioxines et furannes 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 milliardième de gramme) sont estimées en Italie du nord, au Royaume uni, en Europe centrale, Ukraine, Russie.

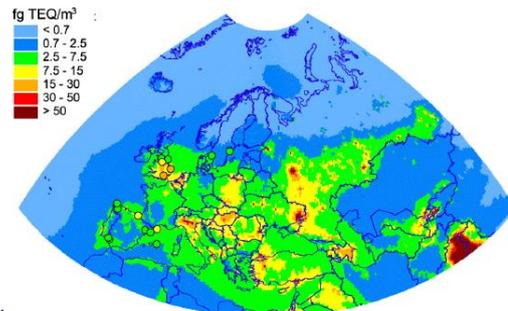


Figure 2 : Distribution spatiale des concentrations de dioxines et furannes modélisées à partir de données de concentrations et d'inventaires d'émissions ajustés dans la zone EMEP en 2016 (EMEP 2018) en 2016 dans la zone EMEP (AEE 2018)

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 Réglementation*) 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 (hexachlorobutadiène, 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, furannes, 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.

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 Agréées 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 2002-2020 avec 338 substances actives recherchées et 8 013 prélèvements effectués sur 227 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 cancérigènes, 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 réglementaire, 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 conclut 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 cancérigènes, 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.

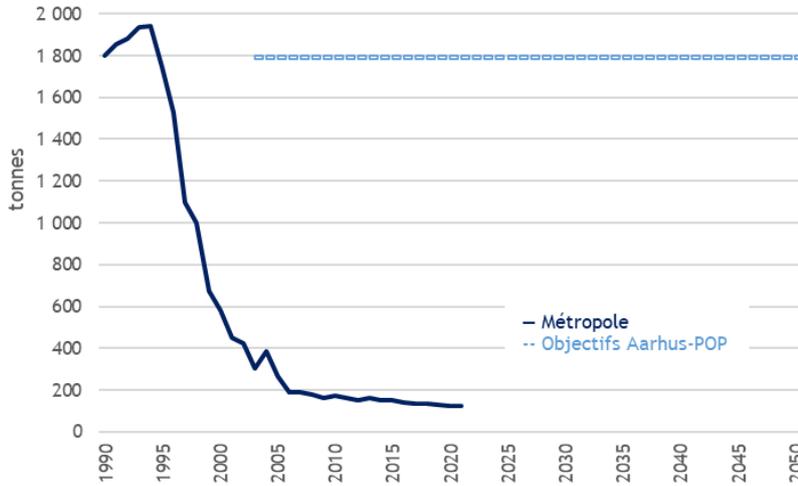
D'autres travaux en cours permettent de faire évoluer l'état des connaissances sur les résidus de pesticides dans l'air :

- 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 : TRANSPOEST (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 Phytosanitaires à l'échelle Régionale).

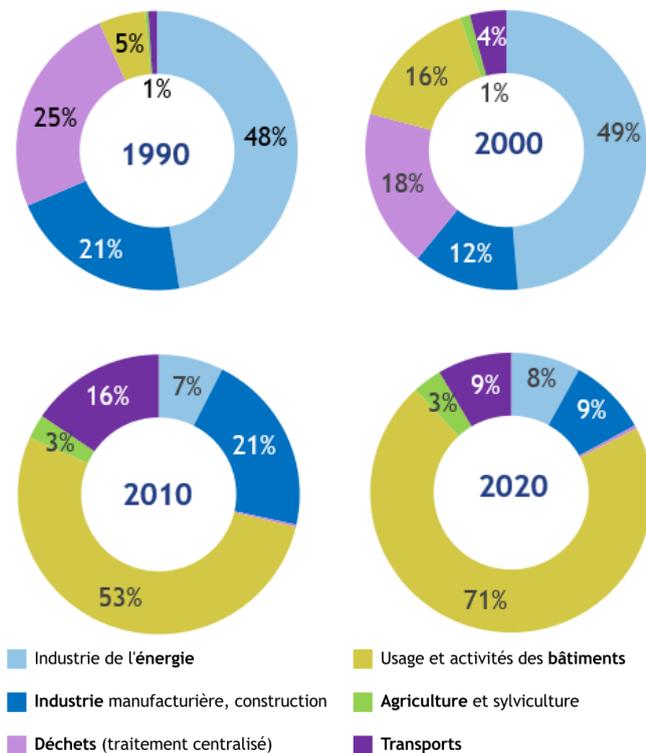
Enfin, lors de la rencontre co-organisée par l'APCA (Chambres d'agriculture France) et l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) lors du Salon International de l'Agriculture le 26 février 2020, les acteurs du développement agricole et de la recherche 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 bref

Evolution des émissions de PCDD-F en France



Répartition des émissions de PCDD-F en France



PCDD-F

Dioxines et furannes

Type

Polluant organique persistant

Définition

Les polychlorobenzodioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofuranes (PCDF), regroupés sous le terme dioxines et furannes 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 furannes.

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.

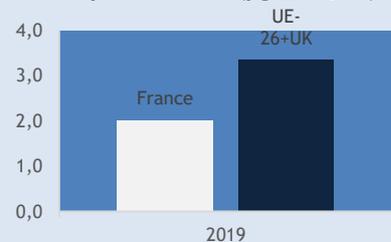
Phénomènes associés

Contamination de l'air, l'eau, des sols, sédiments et de la chaîne alimentaire

Effets

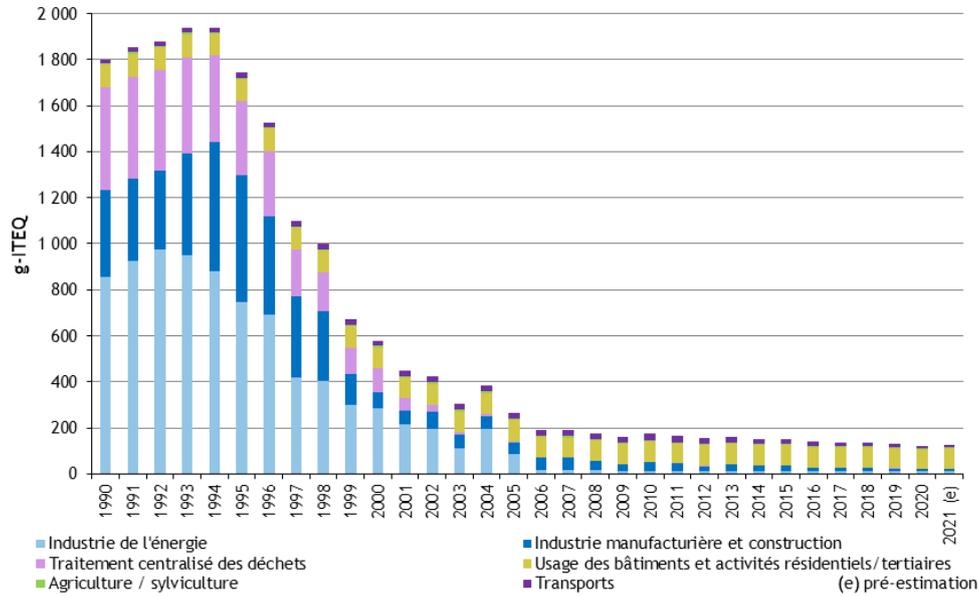
☠ Santé ☠ cancérogènes, perturbateurs endocriniens

Emissions par habitant (µg-ITEQ/ha)

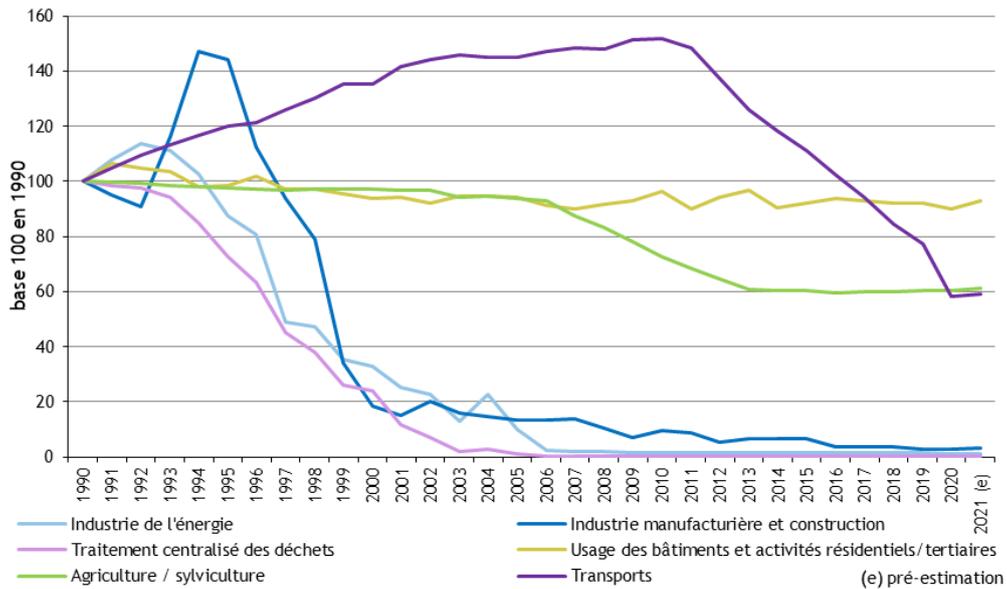


Dioxines et furannes

Evolution des émissions dans l'air de PCDD-F depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de PCDD-F en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de PCDD-F (g-ITEQ/an) Périmètre : Métropole	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
									absolu	%	absolu	%	absolu	%
Industrie de l'énergie	855,2	282,6	13,0	12,4	9,8	10,3	8%	8%	-845,5	-99%	-2,7	-21%	+0,5	+5%
Industrie manufacturière et construction	380,1	70,6	36,8	11,1	11,1	11,9	9%	9%	-369,1	-97%	-0,0	0%	+0,9	+8%
Traitement centralisé des déchets	445,8	106,2	0,5	0,6	0,5	0,5	0%	0%	-445,4	-100%	-0,1	-19%	+0,0	+3%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/ tertiaires	96,0	90,0	92,6	88,6	86,6	89,3	71%	70%	-9,4	-10%	-2,1	-2%	+2,7	+3%
Agriculture / sylviculture	6,8	6,6	4,9	4,1	4,1	4,1	3%	3%	-2,7	-40%	+0,0	0%	+0,0	+1%
Transports	17,9	24,2	27,2	13,9	10,4	10,6	9%	8%	-7,5	-42%	-3,4	-25%	+0,2	+2%
Transport hors total	1,1	1,2	1,1	0,8	0,4	0,4								
TOTAL national	1 802	580	175	131	122	127	100%	100%	-1679,5	-93%	-8,3	-6%	+4,3	+4%

Dioxines et furannes

Analyse

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 furannes.

Les furannes ou polychlorodibenzo-furanes ou PCDF sont une famille de molécules chimiques cycliques (hétérocycle aromatique) et sont émis lors de l'incinération de PCB ($T > 1\ 200^{\circ}\text{C}$). 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 furannes 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 chaîne (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 entraîner 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 furannes 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, entraînant 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, furannes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hexachlorobenzène (HCB) en deçà de leurs niveaux de 1990.

En France, pour les rejets de dioxines et furannes, il se traduit par une obligation à émettre moins de 1 802 g-ITEQ par an. En 2020, les émissions totales françaises de PCDD-F étaient de 122 g-ITEQ, soit une baisse de 93% par rapport aux rejets de l'année 1990.

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 influencer fortement sur les niveaux observés.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 furannes proviennent d'un outil du PNUE sauf pour le bois et les déchets agricoles pour lesquels une étude du Citepa est utilisée. *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 à 35%.

Tendance générale

Les émissions de dioxines et furannes (PCDD-F) sont exprimées en I-TEQ (équivalent toxique international).

Les phénomènes complexes conduisant à la formation de dioxines et furannes 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/furannes, mais dans des proportions variables. Du fait d'une très forte baisse des émissions entre 1990 et 2020 dans certains secteurs, la répartition par secteur est très différente en 1990 de celle observée en 2020.

Le secteur du résidentiel/tertiaire est la principale source des émissions de PCDD-F depuis 2005 (71% en 2020) 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 2020 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.

Le secteur des déchets contribuait également de façon importante en 1990. La très forte décroissance observée entre 1990 et 2020 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.

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 2020. Concernant les déchets dangereux, l'arrêté du 20 septembre 2002 qui leur est dédié a permis une réduction de 91% des émissions liées à l'incinération des déchets industriels dangereux entre 1990 et 2020.

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.

Évolution récente

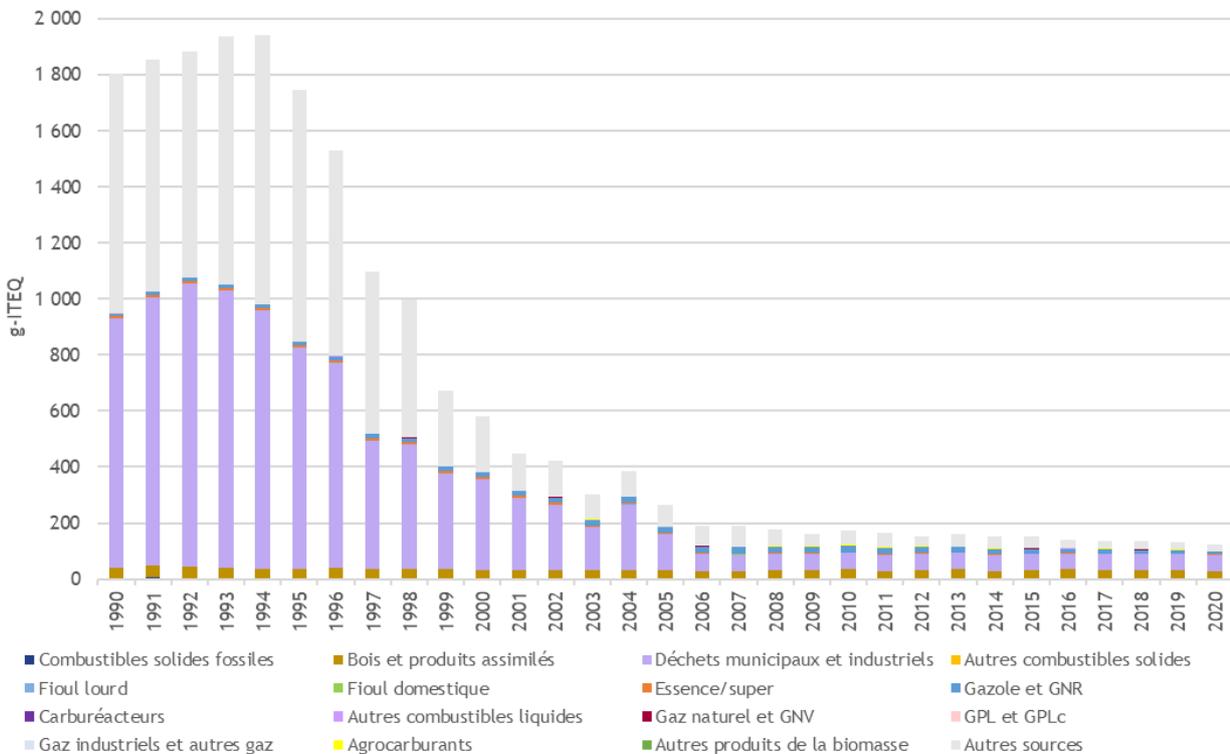
La tendance à la baisse observée depuis 2010 est essentiellement due au secteur de l'industrie manufacturière et au secteur des transports.

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 années 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.

Part des émissions liée aux combustibles

Répartition des émissions de PCDD-F par combustible en France (Métropole)



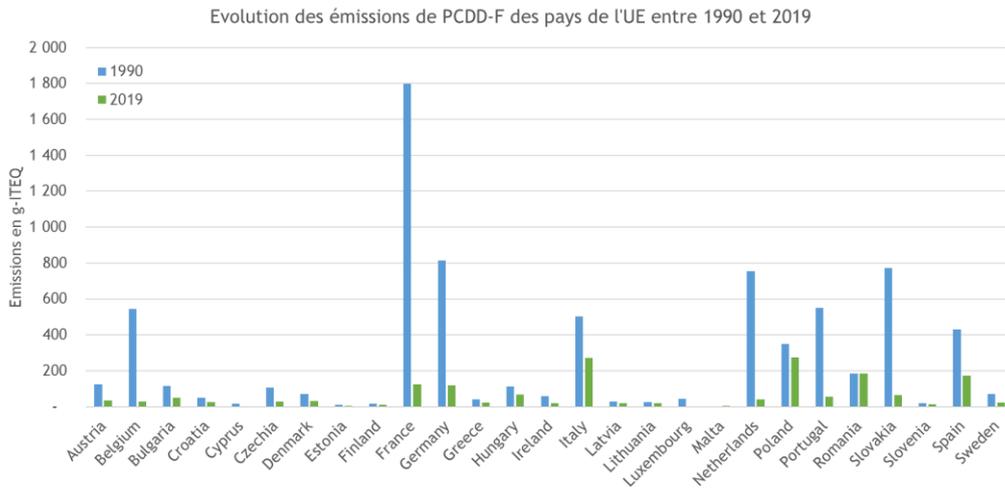
Les rejets de dioxines et furannes (PCDD-F) sont principalement issus de procédés non énergétiques et de la combustion de déchets municipaux et industriels. Ainsi, en 1990 leurs émissions cumulées représentées 97% des émissions du territoire national. A partir de 1997, cette situation de quasi-monopole évolue et la part cumulée des procédés non énergétiques et de la combustion des déchets décroît 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 1990-2020. Entre 1990 et 2012, on enregistre une augmentation de 1% à 14% des rejets totaux de PCDD-F. On observe cependant une diminution régulière de celle-ci depuis 2013, ne représentant aujourd'hui que 7% des rejets nationaux.

Et ailleurs ?

Au sein de l'Union Européenne, la France était le pays le plus émetteur de dioxines et furannes en 1990 d'après les données de l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) avec 23,6% des rejets totaux. En 2019, la France est le 5^{ème} émetteur de l'UE et totalise 7,2% des rejets. C'est le pays ayant réduit le plus ses émissions entre 1990 et 2019.

Seuls Malte et la Roumanie ont vu leurs émissions augmenter sur cette période. En 2019, les pays les plus émetteurs étaient la Pologne avec 16% des rejets totaux (274 g-ITEQ), l'Italie dont les rejets s'élevaient à 15,8% (271 g-ITEQ) des émissions de l'UE et la Roumanie avec 10,8% des émissions totales (186 g-ITEQ).

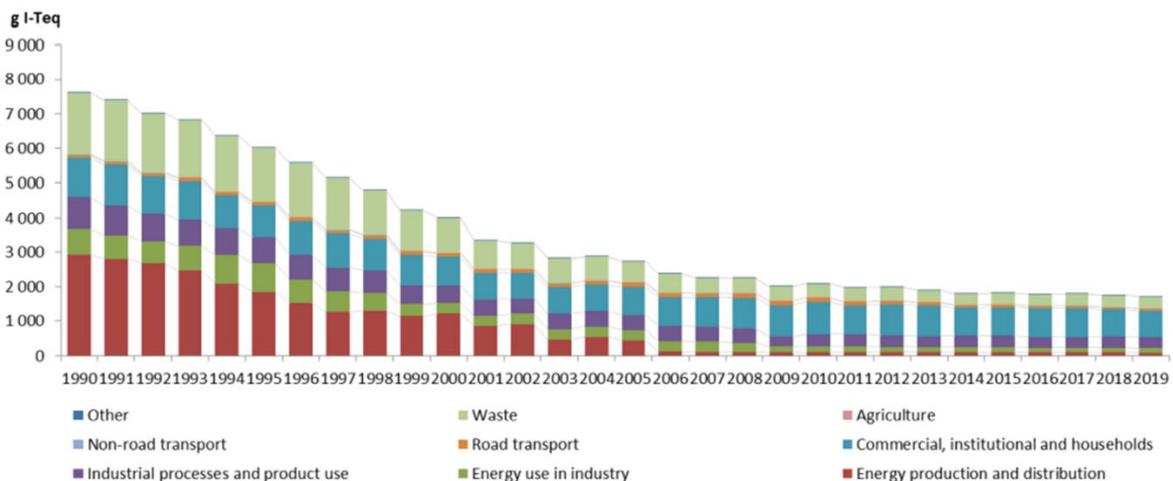


Source : European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency

En parallèle, on note que les émissions par habitant en France en 2019 (2,0 µg-ITEQ/hab/an) sont très inférieures aux rejets par habitant de l'Union Européenne pour 2019 (3,4 µg-ITEQ/hab/an).

Enfin, entre 1990 et 2019, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 77,5% des rejets de dioxines et furannes, passant de 7 623 g-ITEQ à 1 716 g-ITEQ. En 2019, les trois principaux secteurs émetteurs sont les secteurs résidentiels et tertiaire (43%), des déchets (21%) et de l'industrie manufacturière (19%).

Emissions de PCDD-F de l'Union Européenne (UE 27) entre 1990 et 2019 - European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency



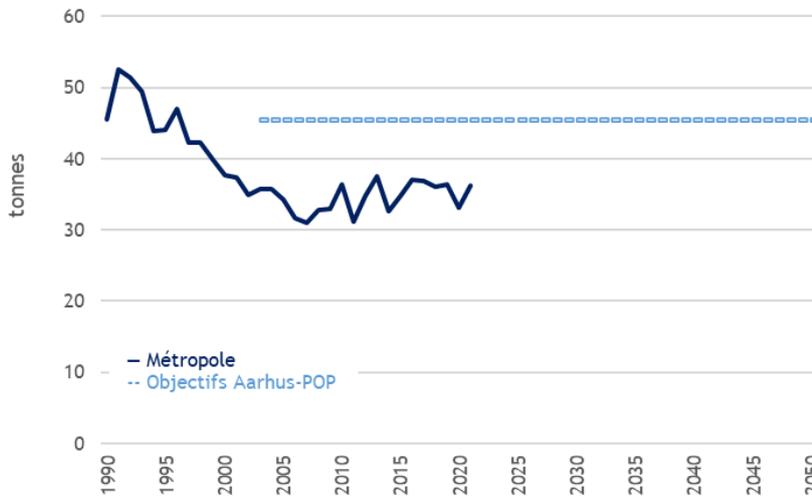
En savoir plus

Référence impact sur la santé :

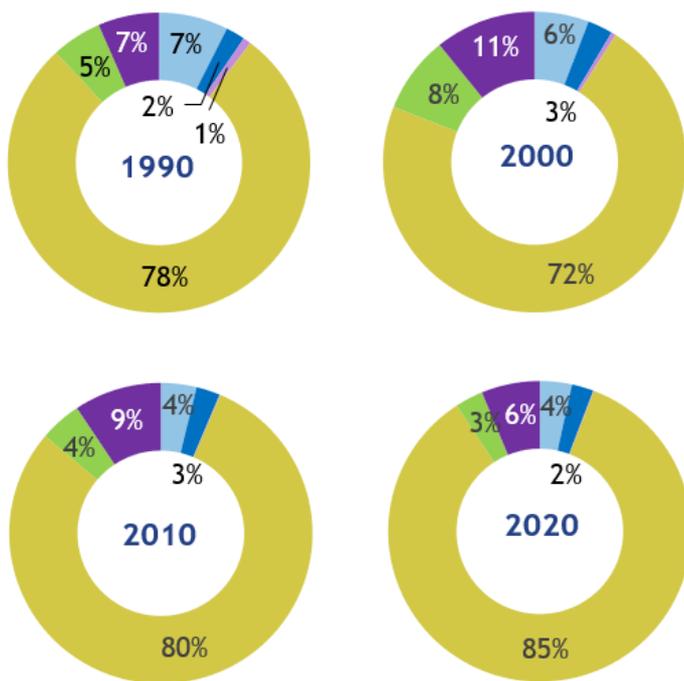
Ineris - <https://substances.ineris.fr/fr/substance/1734>

En bref

Evolution des émissions de HAP en France



Répartition des émissions de HAP en France



*4 HAP visés par la CEE-NU benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indeno(1,2,3-cd)pyrène

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)fluoranthène 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.

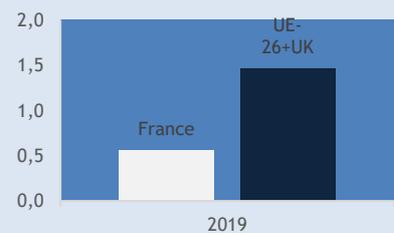
Origine
Sources anthropiques : combustion de biomasse, de combustibles minéraux solides et de carburants ; incinération de déchets ; feux ouverts ; cultures ; métallurgie des métaux ferreux.

Source naturelle : feux de forêts et prairies ; activité volcanique.

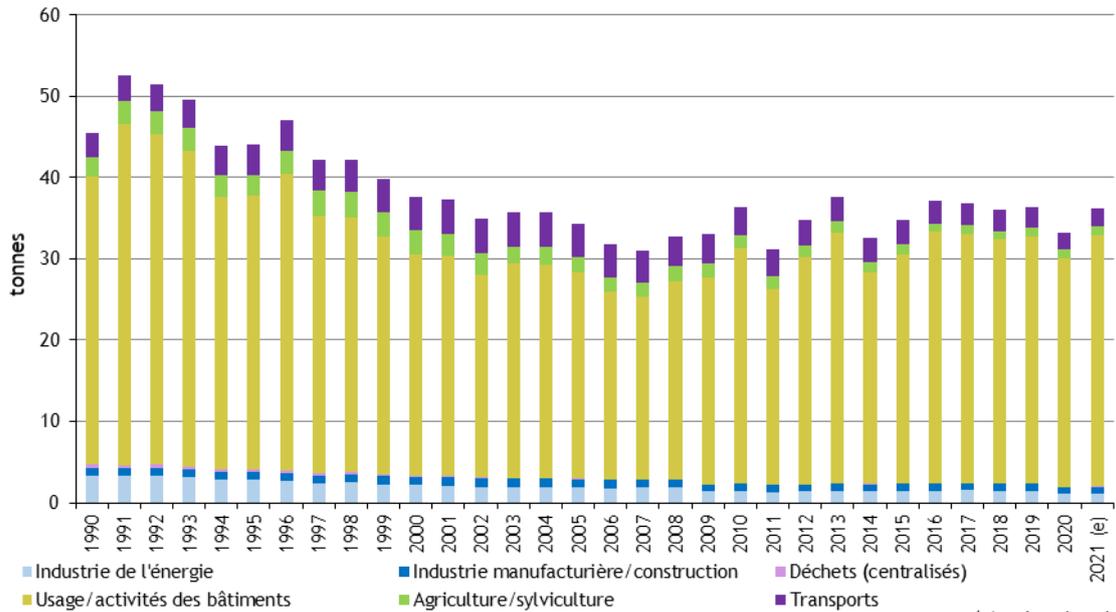
Phénomènes associés
Certains HAP peuvent être des COVNM lorsqu'ils sont très volatils (naphtalène par exemple) mais la plupart sont sous forme particulaire. Ils contaminent l'eau, les sols et la chaîne alimentaire.

Effets
☠ Santé ☠ Plusieurs HAP cancérigènes dont le B[a]P, B[f]F, B[k]F, I[1,2,3-cd]P.

Emissions par habitant (g/hab)

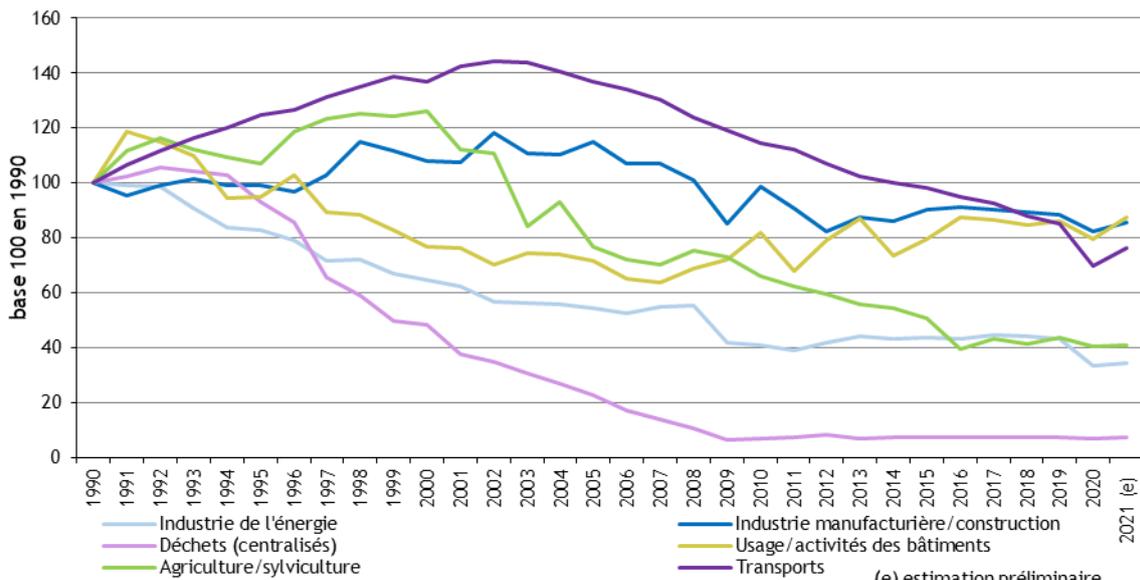


Evolution des émissions dans l'air de HAP depuis 1990 en France (Métropole)



(e) pré-estimation

Evolution des émissions dans l'air de HAP en base 100 en 1990 en France (Métropole)



(e) estimation préliminaire

Emissions de HAP (t/an)
Périmètre : Métropole

	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020	2019-2020	2020-2021 (provisoire)	
Industrie de l'énergie	3,4	2,2	1,4	1,5	1,1	1,2	3%	3%	-2,2	-66%	+0,0	+2%
Industrie manufacturière et construction	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	2%	2%	-0,2	-18%	+0,0	+4%
Traitement centralisé des déchets	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	-0,4	-93%	+0,0	+7%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	35,4	27,1	29,0	30,4	28,2	30,9	85%	85%	-7,2	-20%	+2,7	+10%
Agriculture / sylviculture	2,5	3,1	1,6	1,1	1,0	1,0	3%	3%	-1,5	-59%	+0,0	+1%
Transports	3,0	4,1	3,4	2,5	2,1	2,3	6%	6%	-0,9	-30%	+0,2	+10%
Transport hors total	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2						
TOTAL national	45,5	37,6	36,3	36,4	33,2	36,2	100%	100%	-12,3	-27%	+3,0	+9%

Analyse

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 leur 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 cancérigène. 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 cancérigènes, 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, furannes, 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 45,5 tonnes par an. En 2020, les émissions totales françaises de HAP étaient de 32,2 tonnes, soit une diminution de 27% par rapport aux rejets de l'année 1990.

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.

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 83,4 %.

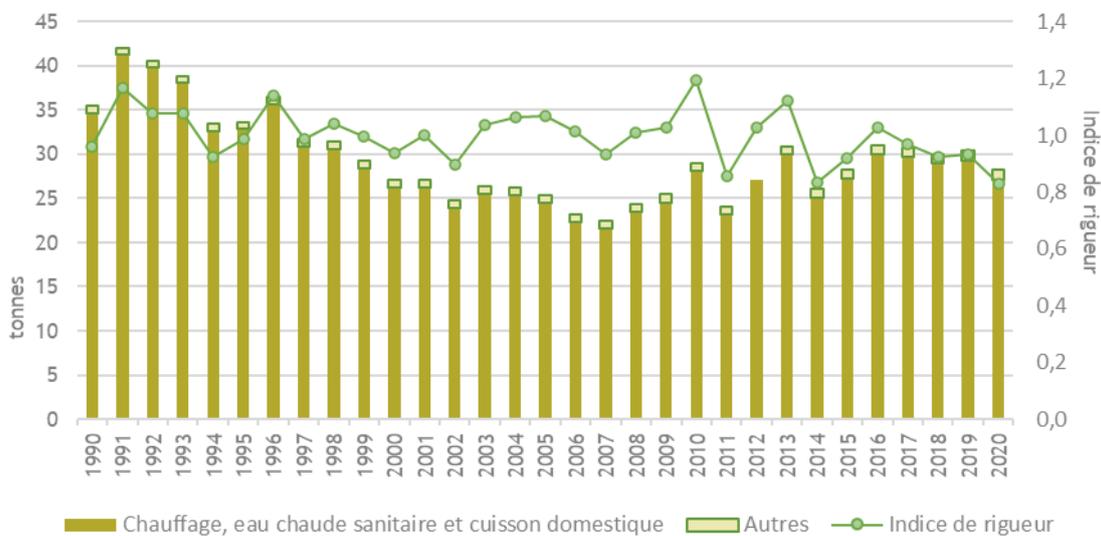
Tendance générale

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 2020, plus 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 (<10%) aux émissions du secteur résidentiel.

Sur la période 1990-2020, 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.



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 20%. Cette décroissance est le résultat, notamment, du renouvellement d'appareils anciens dans le secteur domestique.

Néanmoins, dans certains secteurs tels que le transport routier, cette baisse est moins importante entre 1990 et 2020 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 4 fois supérieur à celui des HAP ici rapportés.

Évolution récente

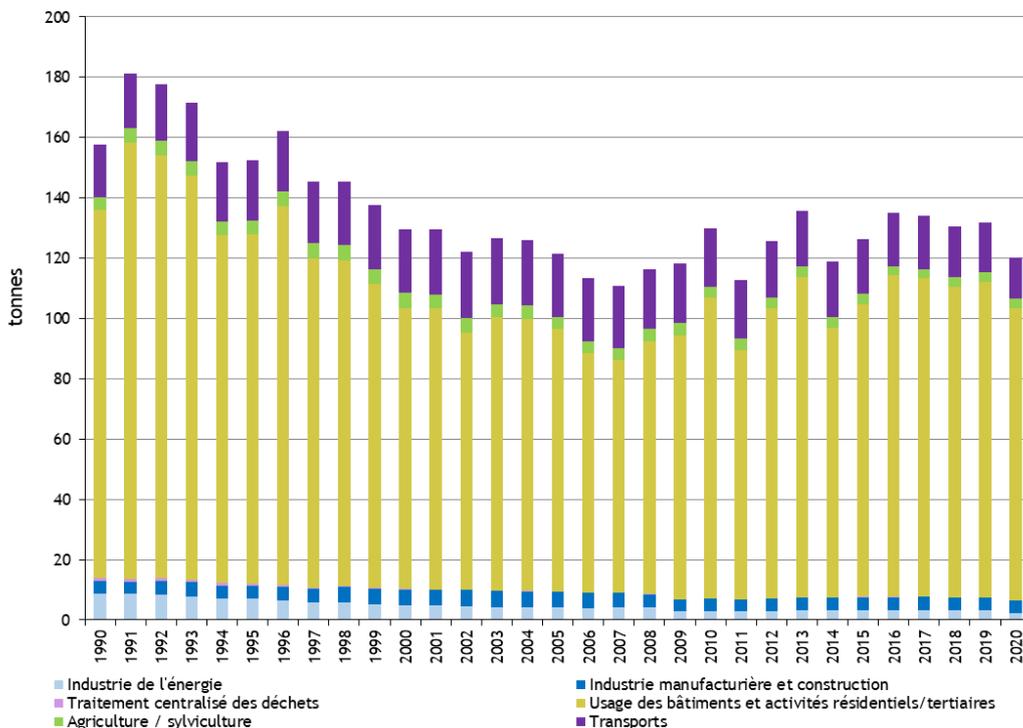
Sur les années récentes le secteur résidentiel reste la source majoritaire de HAP. Les émissions sont toujours largement associées aux conditions climatiques. Ainsi, les émissions élevées en 2010 et 2013 sont essentiellement dues à l'augmentation de la consommation de bois dans le secteur résidentiel/tertiaire (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).

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.

Evolution des émissions dans l'air des 8 HAP réglementés depuis 1990 en France (Métropole)



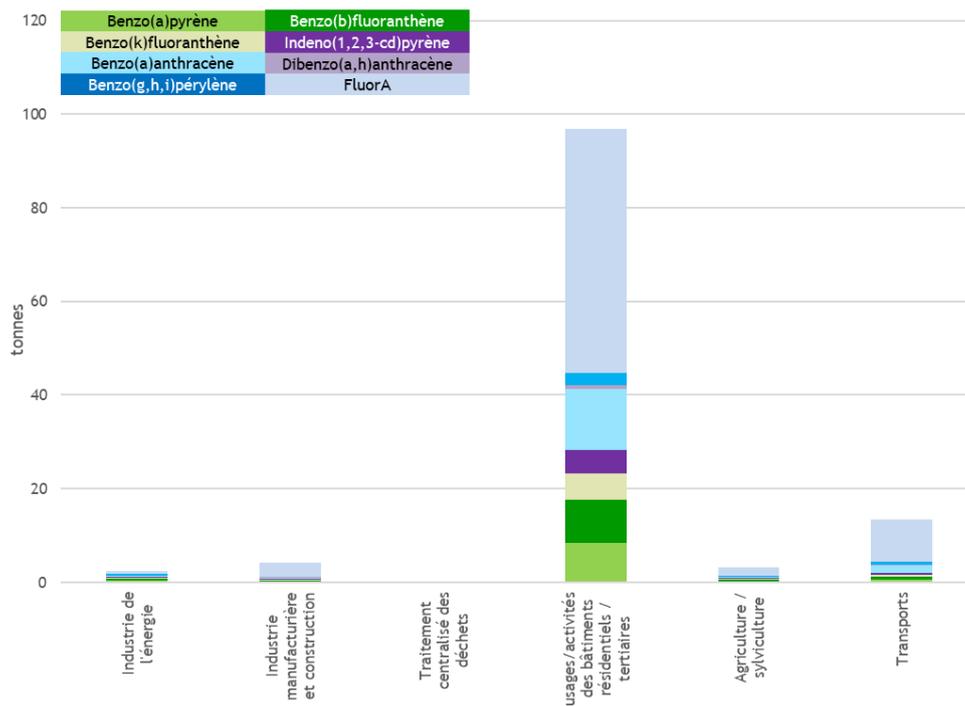
Spéciation

En 2020, 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 70% des rejets industriels, 67% dans les transports, 55% 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 (11,5%) et du résidentiel/tertiaire (13,5%), 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 12% 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'indeno(1,2,3-cd)pyrène.

Répartition des émissions des 8 HAP par secteur en France en 2020 (Métropole)



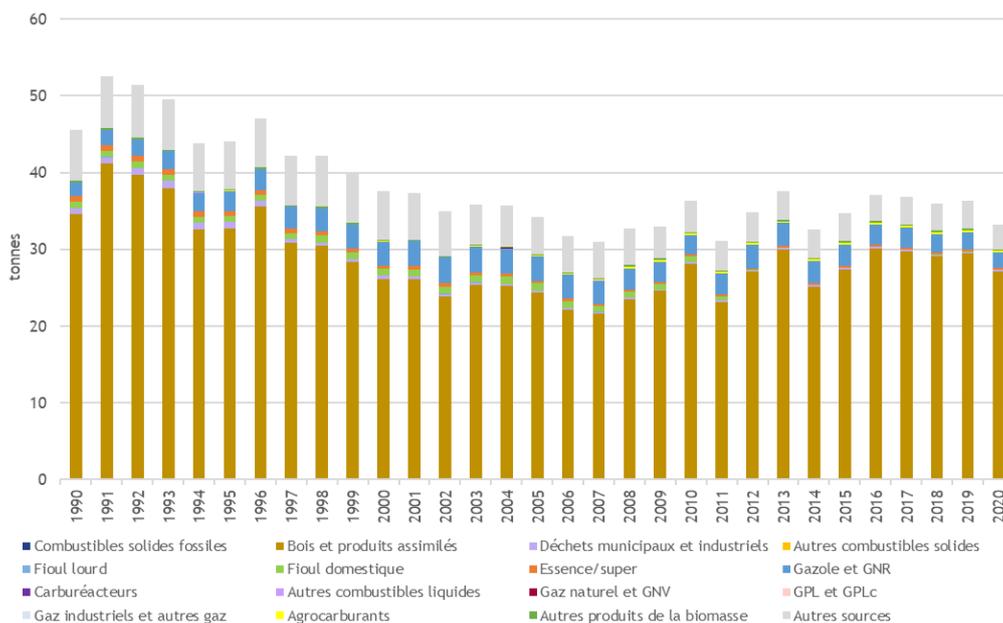
Part des émissions liée aux combustibles

Les rejets de HAP sont principalement pilotés par la combustion du bois et de produits assimilés. Sur la période 1990 à 2020, la part de celle-ci est passée de 76% à 82%.

En parallèle, l'utilisation de gazole et de GNR a vu sa participation aux rejets totaux croître. Entre 1990 et 2020, ces carburants ont vu leur part aux émissions nationales croître de 4% à 6% 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 15% au début des années 1990 à 10% en 2020.

Répartition des émissions des HAP par combustible en France (Métropole)

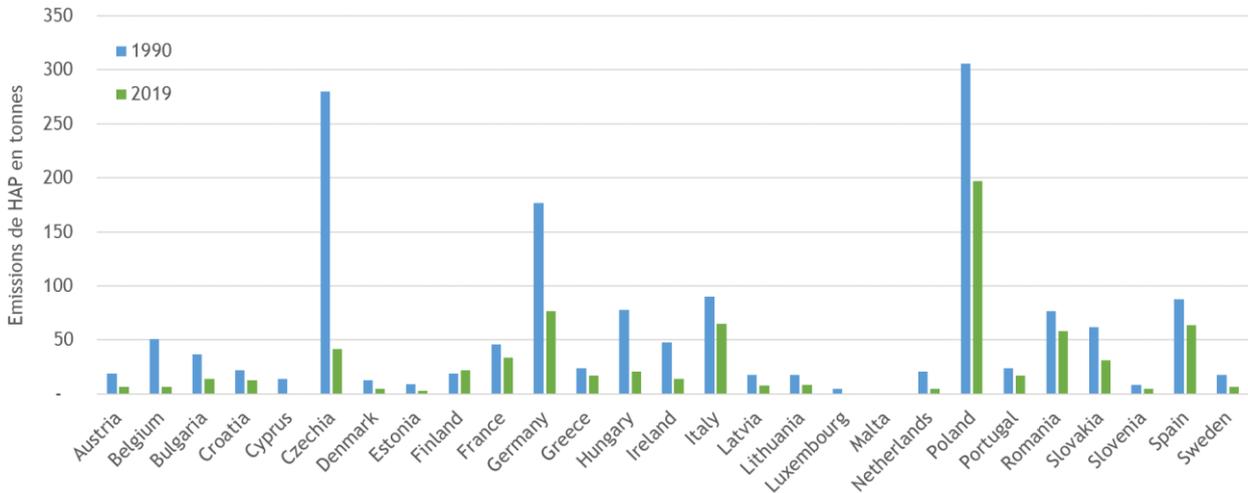


Et ailleurs ?

En 1990 la Pologne était le pays le plus émetteur de HAP (306 tonnes) suivi de la République tchèque (280 tonnes) et de l'Allemagne (177 tonnes). Ils totalisaient ensemble près de 50% des émissions de l'Union Européenne. En 2019 on constate que l'Allemagne et la Pologne sont les deux plus gros émetteurs de HAP de l'UE (respectivement 77 tonnes et 197 tonnes). Le 3^{ème} pays le plus émetteur en 2019 est l'Italie avec 65 tonnes émises.

Comme pour les dioxines et furannes, la grande majorité des pays membres ont vu leurs émissions décroître entre 1990 et 2019, à l'exception de la Finlande dont les rejets ont très légèrement augmenté. La France est le 7^{ème} pays émetteur de HAP au sein de l'UE en 2019 (et le 11^{ème} en 1990).

Evolution des émissions de HAP des pays de l'UE entre 1990 et 2019

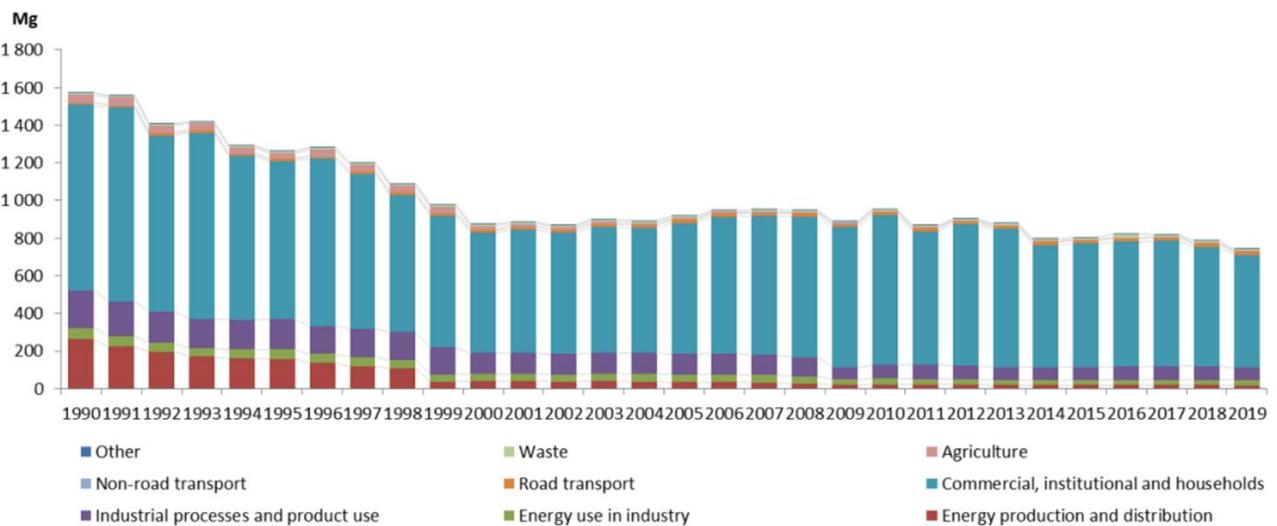


Source : European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency

En parallèle, on note que les émissions par habitants en France en 2019 (0,6 g/hab/an) sont très inférieures aux rejets par habitant de l'Union Européenne (28) pour 2019 (1,5 g/hab/an).

Enfin, entre 1990 et 2019, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 53% des rejets de HAP, passant de 1 573 tonnes à 741 tonnes. En 2019, les 2 principaux secteurs émetteurs sont les secteurs résidentiels et tertiaire (81%) et de l'agriculture (9%).

Emissions de HAP de l'Union Européenne (28) entre 1990 et 2019 - European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency



En savoir plus

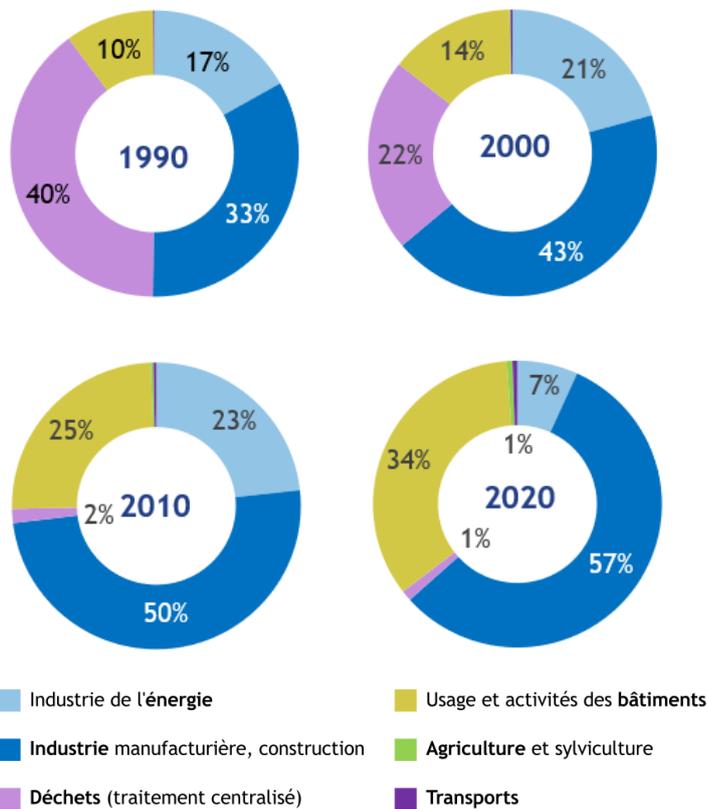
Référence impact sur la santé : Ineris - <https://substances.ineris.fr/fr/substance/484>

En bref

Evolution des émissions de PCB en France



Répartition des émissions de PCB en France



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

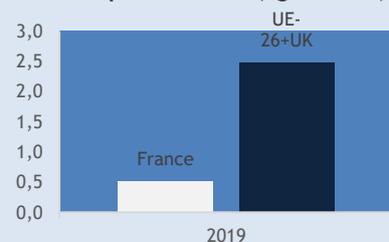
Phénomènes associés

Contamination de l'air, des sols, de l'eau, des sédiments et de la chaîne alimentaire

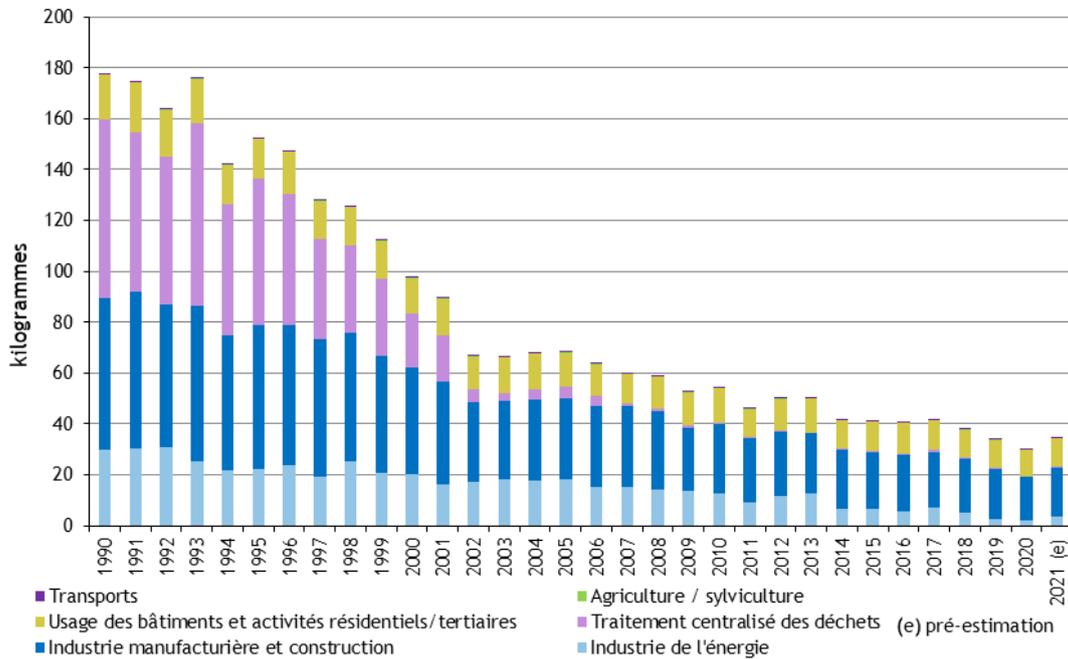
Effets

☠ Santé ☠ Cancérigène

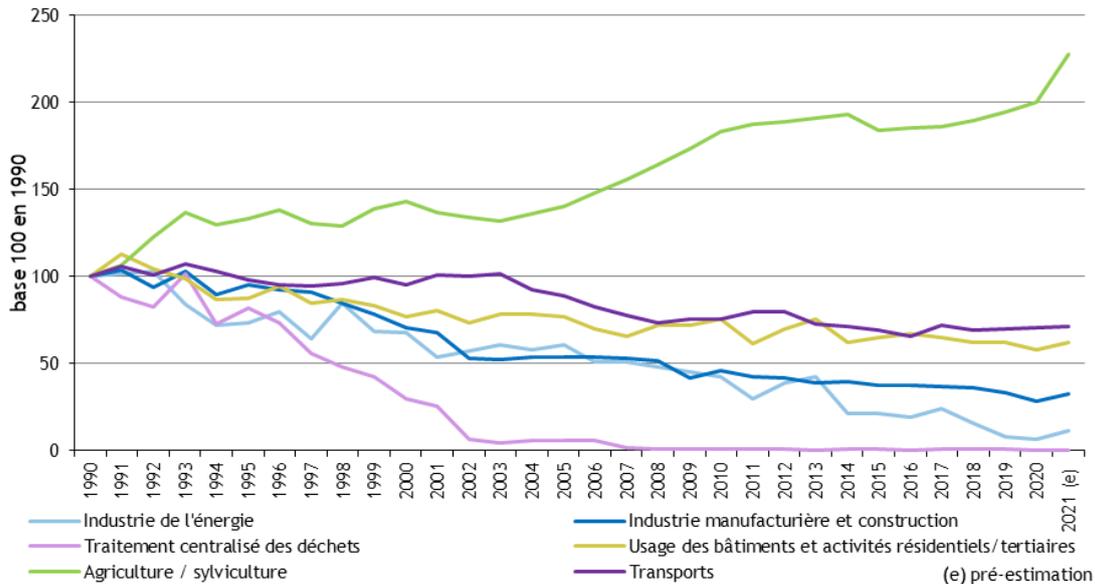
Emissions par habitant (kg/hab/an)



Evolution des émissions dans l'air de PCB depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de PCB en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de PCB (kg/an)
Périmètre : Métropole

	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
Industrie de l'énergie	29,9	20,3	12,6	2,4	2,0	3,5	7%	10%	-27,9	-93%	-0,4	-15%	1,5	72%
Industrie manufacturière et construction	59,3	42,0	27,1	19,6	17,0	19,3	57%	56%	-42,3	-71%	-2,6	-13%	2,3	14%
Traitement centralisé des déchets	70,5	21,3	0,9	0,5	0,4	0,4	1%	1%	-70,2	-99%	-0,2	-35%	0,0	7%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	17,7	13,7	13,4	11,0	10,3	11,1	34%	32%	-7,4	-42%	-0,7	-6%	0,8	8%
Agriculture / sylviculture	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	1%	1%	0,1	101%	0,0	3%	0,0	13%
Transports	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1%	0%	-0,1	-29%	0,0	2%	0,0	0%
Transport hors total	1,4	1,6	1,4	1,0	0,5	0,5								
TOTAL national	177,7	97,6	54,4	33,9	30,1	34,7	100%	100%	-147,7	-83%	-3,8	-11%	4,6	15%

Analyse

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 adopté 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 chaîne 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 migrants (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 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 à 46,6%.

Tendance générale

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.

Trois secteurs contribuent principalement aux émissions de PCB en 2020, à savoir, par ordre de prédominance, l'industrie manufacturière (56%), le résidentiel/tertiaire (34%) et dans une moindre mesure, la transformation d'énergie (7%). 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.

Entre 1990 et 2020, les émissions 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 2020 (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).

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.

Concernant le secteur de l'industrie manufacturière, les émissions proviennent essentiellement de la métallurgie des métaux ferreux en 2020 (69% des rejets du secteur) et du sous-secteur de la chimie en 1990 (52% des émissions du secteur). La baisse de plus de 70% des émissions du secteur 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 1990-2020 est plus modérée (environ 40%). 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 2020 fait suite à une réduction de la consommation de charbon.

Évolution récente

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 liée aux combustibles

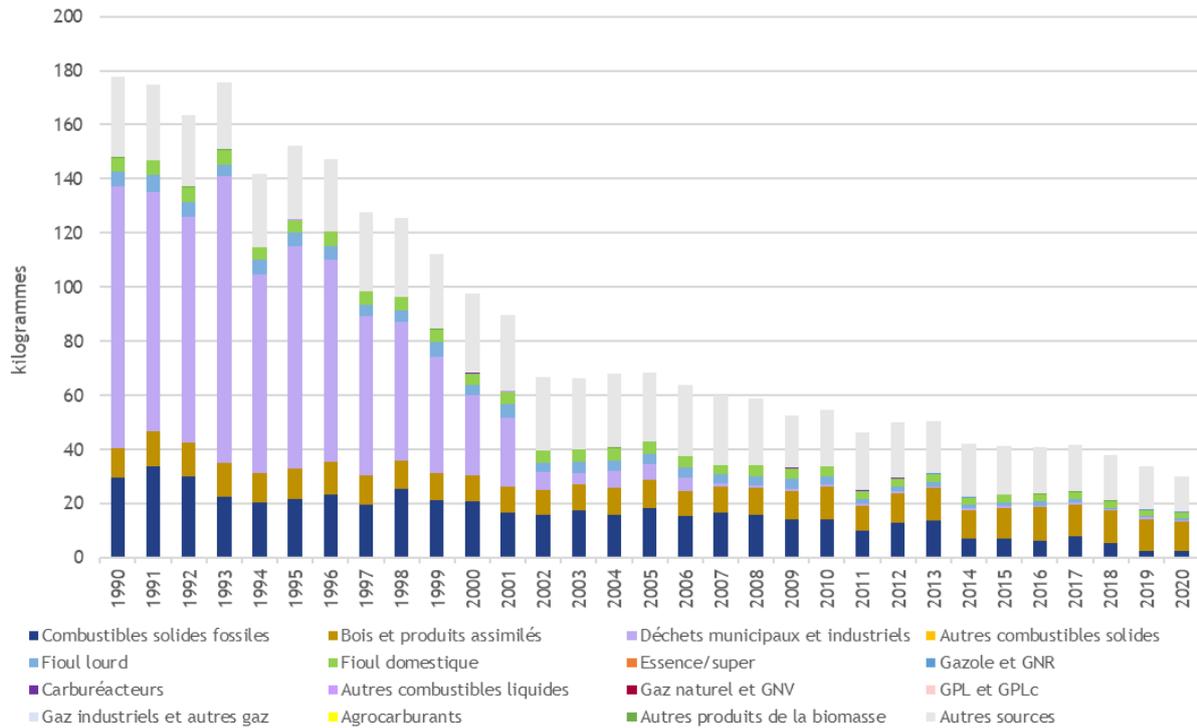
En 1990, la combustion des déchets représentait 54% des émissions nationales de PCB. Cette part a augmenté jusqu'en 1993 atteignant les 60% puis a rapidement décliné pour atteindre les 2% à partir de 2007. Aujourd'hui la combustion des déchets est responsable de seulement 1% à 2% (en fonction des années) des rejets de PCB en France.

Jusqu'en 2018, les combustibles fossiles solides occupaient une place relativement importante dans les émissions de PCB malgré une baisse constante entre 1990 et 2018. Sa part dans les rejets globaux a fluctué entre 13% (en 1993) et 28% (en 2007). Aujourd'hui les combustibles fossiles sont responsables de seulement 7% des rejets globaux. Cette baisse s'explique par une diminution de la consommation de charbon des centrales électriques françaises en 2019 et 2020.

Les émissions de polychlorobiphényles liées à la combustion du bois sont restées plutôt stables sur la période 1990-2020. Ainsi la part de ces dernières dans les émissions totales est passée de 6% en 1990 à 37% aujourd'hui.

Enfin, les émissions non-énergétiques sont restées stables entre 1990 et 2004 et ont entamé une baisse à partir de 2005. Ainsi, la part des émissions non-énergétiques est passée de 17% en 1990 à 43% en 2020.

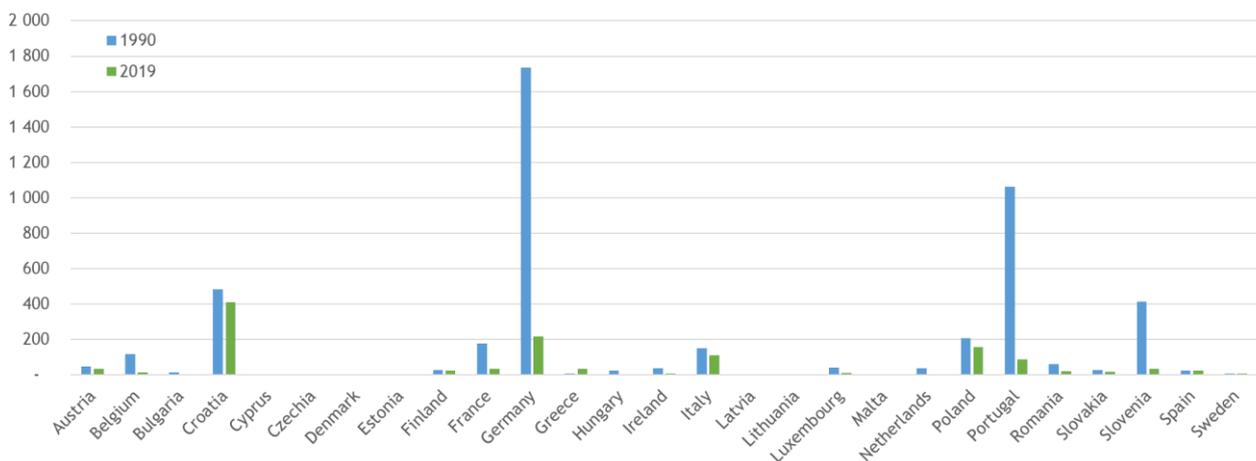
Répartition des émissions de PCB par combustible en France (Métropole)



Et ailleurs ?

En 1990 l'Allemagne était le premier émetteur de l'Union Européenne avec 37% des émissions totales, suivi du Portugal (23%) et de la Croatie (10%). En 2019 les rejets européens ont chuté de 73% par rapport à 1990. En 2019 les principaux contributeurs aux émissions de l'UE sont la Croatie (32%), l'Allemagne (17%) et la Pologne (12%). La France est le 9^{ème} contributeur aux émissions de PCB en 2019 (6^{ème} en 1990). Sur la période 1990-2019, seule la Grèce a vu ses rejets croître (+289%).

Evolution des émissions de PCB des pays de l'UE entre 1990 et 2019

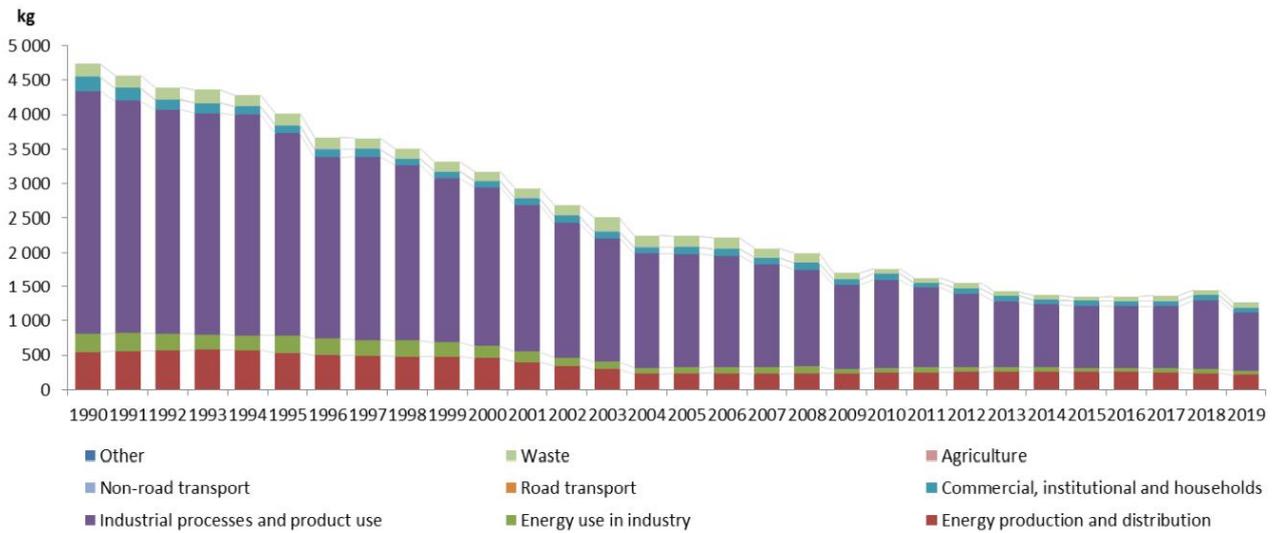


Source : European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency

En parallèle, on note que les émissions par habitants en France en 2018 (0,5 mg/hab/an) sont inférieures aux rejets par habitant de l'Union Européenne (28) pour la même année (2,5 mg/hab/an).

Enfin, entre 1990 et 2019, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 73% des rejets de PCB, passant de 4 739 kg à 1 264 kg. En 2019, le principal secteur émetteur est le secteur de l'industrie manufacturière (67%).

Emissions de PCB de l'Union Européenne (28) entre 1990 et 2019 - European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency



En savoir plus

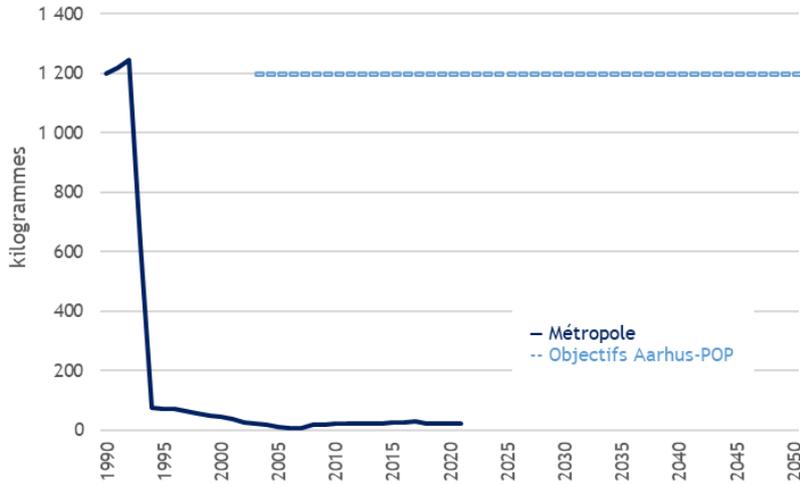
Référence impact sur la santé :

Ineris - <https://substances.ineris.fr/fr/substance/2853>

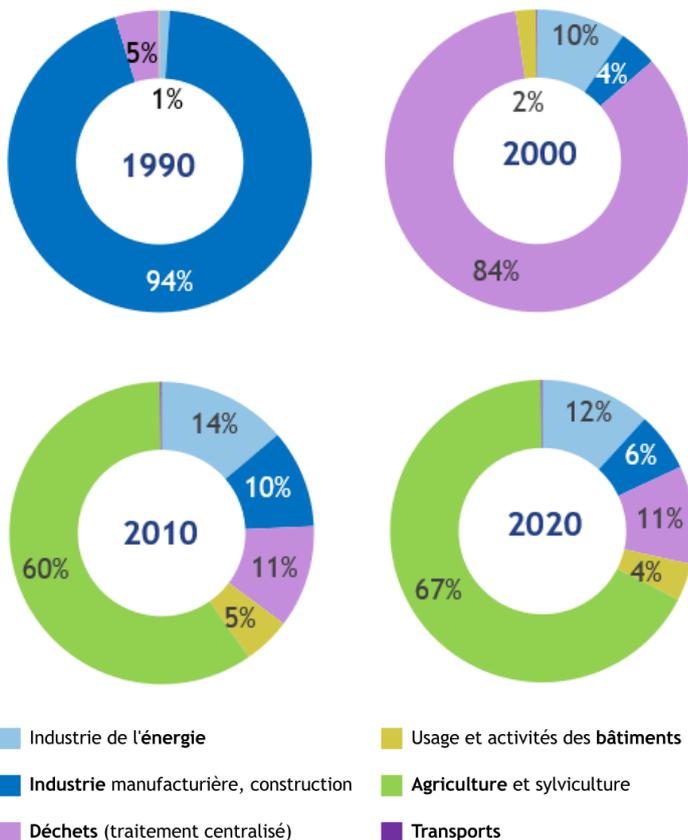
Actu environnement - "PCB : comprendre l'effet chronique des faibles doses en mélange" - Hélène Budzinski - Directrice de recherche de physico et toxico-chimie de l'environnement à Bordeaux | (<https://www.actu-environnement.com/ae/news/PCB-comprendre-effet-chronique-faibles-dose-melange-16441.php4>)

En bref

Evolution des émissions de HCB en France



Répartition des émissions de HCB en France



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.

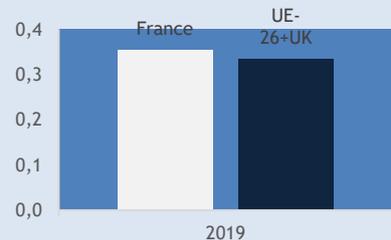
Composition chimique
Six atomes de carbone (C) et de chlore (Cl) composent l'hexachlorobenzène.

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

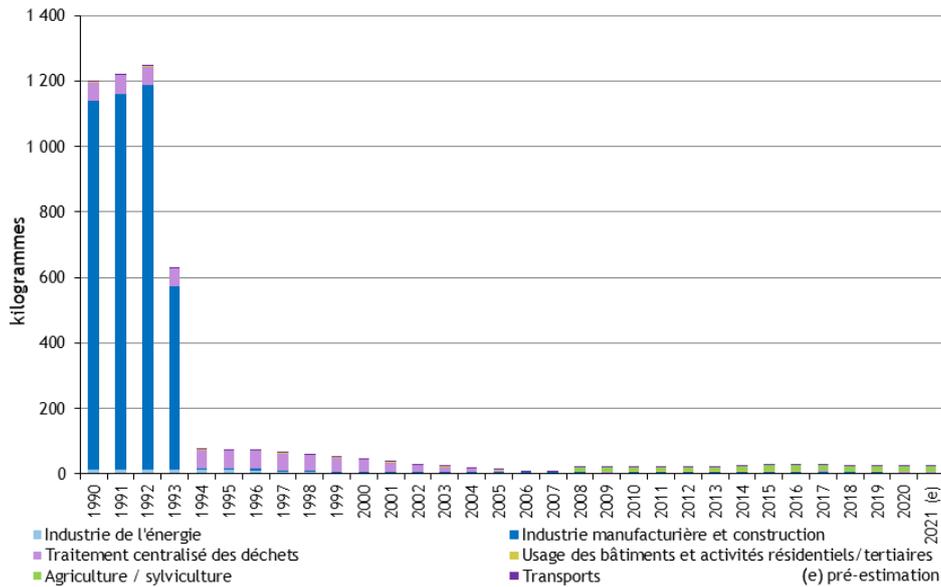
Phénomènes associés
Par sa persistance, contamination de l'air, des sols, de l'eau, des sédiments et de la chaîne alimentaire

Effets
 Santé
  cancérigène

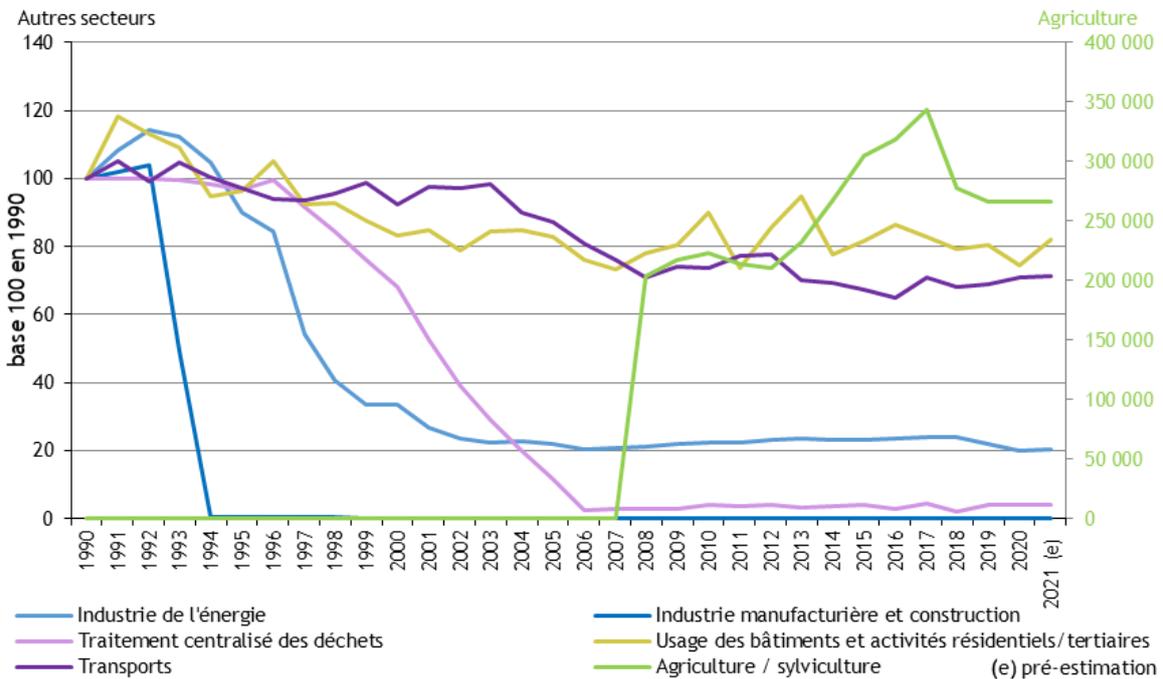
Emissions par habitant (mg/hab)



Evolution des émissions dans l'air de HCB depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de HCB en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de HCB (kg/an) Périmètre : Métropole	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
									-10,2	-80%	-0,2	-8%	+0,0	+0%
Industrie de l'énergie	12,8	4,3	2,9	2,8	2,6	2,6	12%	12%	-1126,3	-100%	-0,6	-31%	+0,0	+3%
Industrie manufacturière et construction	1 128	1,8	2,2	2,0	1,4	1,4	6%	6%	-53,4	-96%	+0,0	+0%	+0,0	+0%
Traitement centralisé des déchets	55,7	37,9	2,3	2,3	2,3	2,3	10%	10%	-0,3	-26%	-0,1	-7%	+0,1	+10%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/ tertiaires	1,2	1,0	1,1	0,9	0,9	1,0	4%	4%	14,9	266253%	0,0	0%	+0,0	+0%
Agriculture / sylviculture	0,0	0,0	12,4	14,9	14,9	14,9	67%	67%	0,0	-29%	0,0	2%	+0,0	+0%
Transports	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%						
Transport hors total	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1								
TOTAL national	1 197	45	21	23	22	22	100%	100%	-1175,3	-98%	-0,9	-4%	+0,2	+1%

Analyse

Enjeux

Effets environnementaux/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 $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'HCB entraînerait une augmentation d'au moins un risque sur cent mille de développer un cancer et de l'air contenant $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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, furannes, 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 1 197 kilogrammes par an. En 2020, les émissions totales françaises de HCB étaient de 22 kilogrammes, soit une diminution de 98% par rapport aux rejets de l'année 1990.

Enjeux méthodologiques et incertitudes

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 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 à 28,3%.

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 que 2% du niveau de 1990.

En 1990, l'industrie manufacturière représentait près de 94% 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 (-99,2%). 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 2020, le second acteur des émissions de HCB est la transformation d'énergie (avec près de 12% des émissions totales), et plus particulièrement l'incinération des déchets avec récupération d'énergie. La diminution 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, le secteur contributeur majeur est l'agriculture, responsable de 68% des émissions en 2020 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 2020, à partir des quantités de pesticides vendus en France métropolitaine. Ces données de vente ne sont disponibles que depuis 2008, année de création de la base de données dans le cadre du premier plan Ecophyto. 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.

Le secteur des déchets contribuait également de façon notable en 2020 avec 10% 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 2020 (de près de 96%) 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 4% des émissions.

Évolution récente

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.

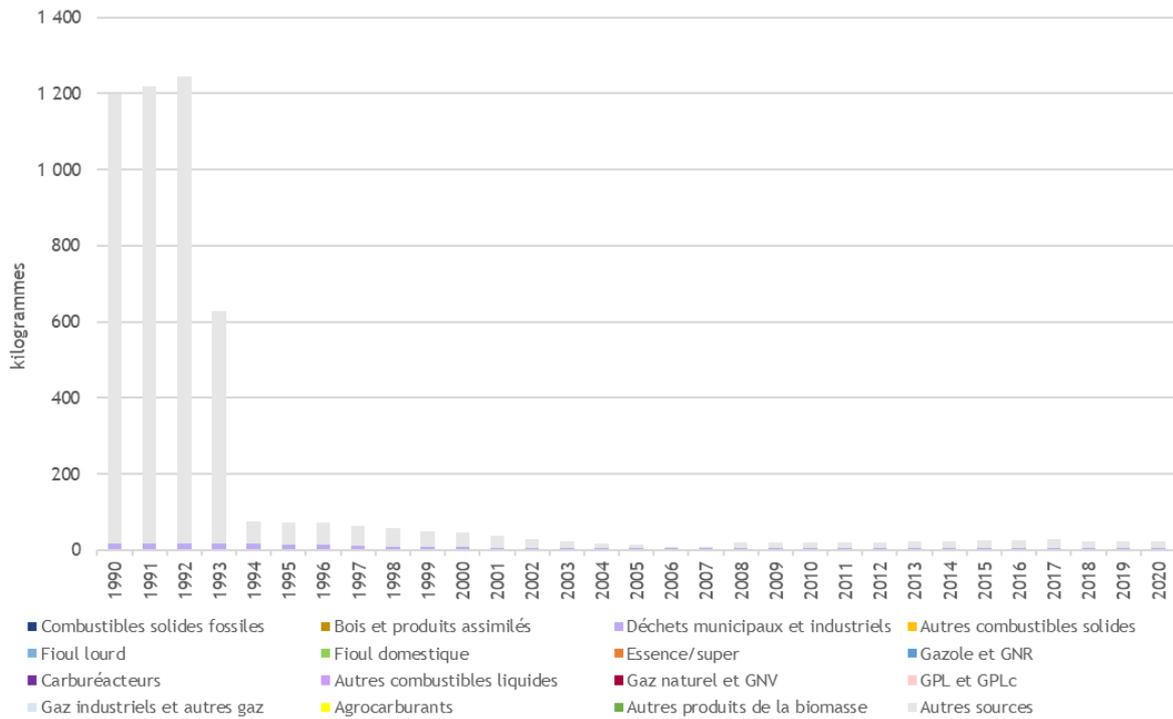
Pour le secteur agriculture/sylviculture, la prise en compte des émissions de HCB liées aux pesticides à partir de l'année 2008 a provoqué une hausse du total national des émissions. Les données montrent que le recours aux substances contenant du HCB a connu une hausse de 31% entre 2008 et 2020 (avec un pic atteint en 2017 : +68% entre 2008 et 2017) et une baisse de plus de 20% entre 2017 et 2020.

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 devraient donc diminuer dès l'année 2020.

Part des émissions liée aux combustibles

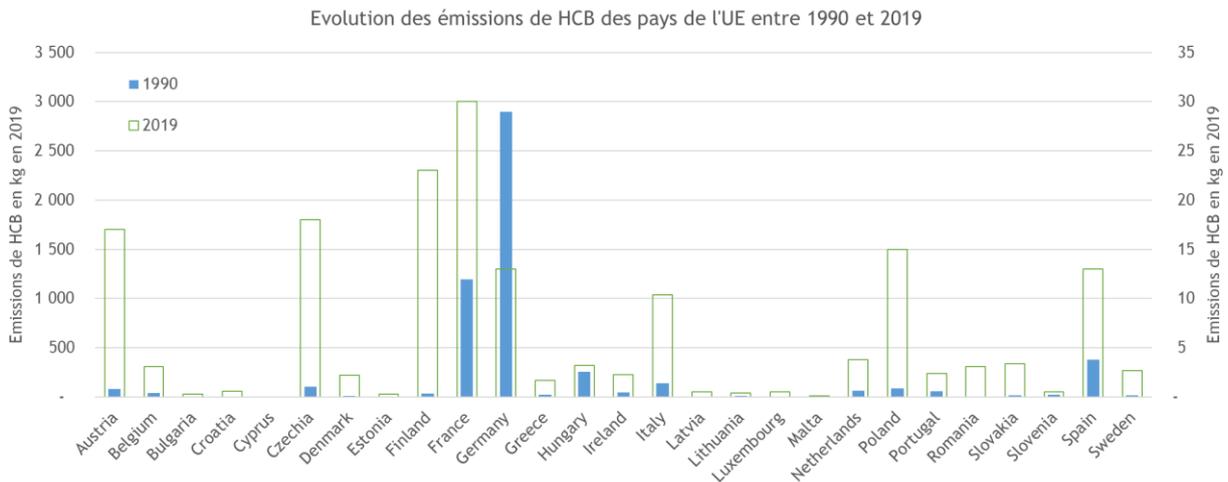
Les émissions non-énergétiques sont prépondérantes sur l'ensemble de la série temporelle. En effet comme il a été mentionné plus haut, la production d'aluminium de seconde fusion au début des années 1990 et l'utilisation de pesticides plus récemment sont les principales sources de rejets.

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 2018, la part des émissions liées à des procédés fluctue entre 70% et 87% à l'exception des années 2005, 2006 et 2007 pour lesquelles cette part chute respectivement à 57%, 27% et 28%. 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 sur 2006 et 2007.



Et ailleurs ?

En 1990 les principaux contributeurs aux émissions de l'Union Européenne étaient l'Allemagne (53%), la France (22%) et l'Espagne (7%). Aujourd'hui, la France est le premier émetteur de l'UE (17,6%) suivi de la Finlande (14%) et de la République Tchèque (11%). Ainsi entre 1990 et 2019, les pays ayant le plus réduit leurs émissions sont également ceux qui émettaient le plus en 1990, leurs baisses cumulées représentant 83% de la diminution de l'UE sur cette période.

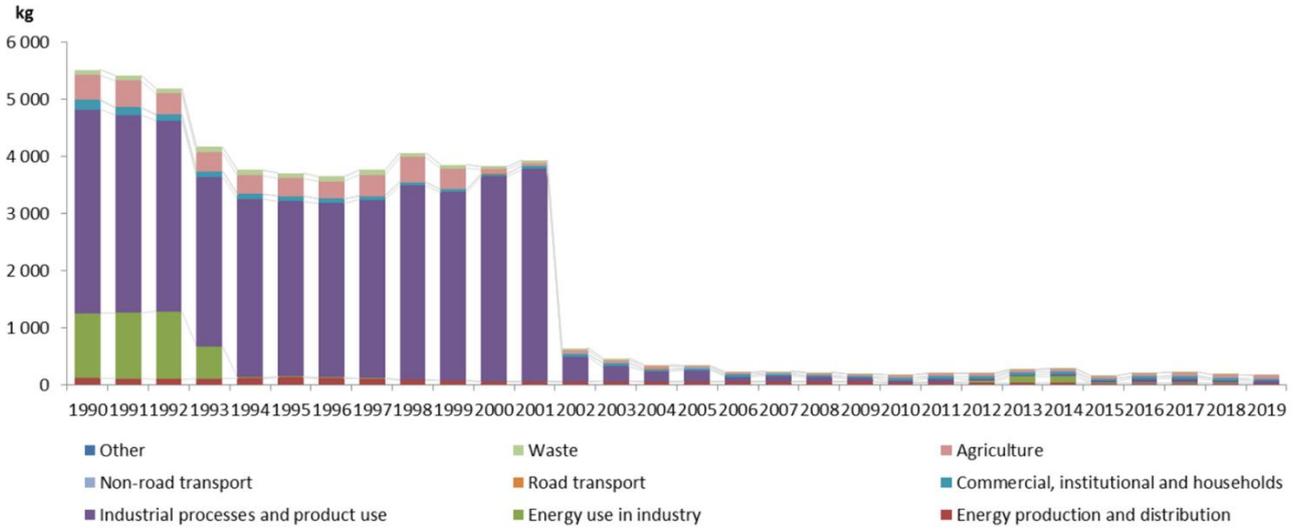


Source : European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency

En parallèle, on note que les émissions par habitants en France en 2019 (0,4 mg/hab/an) sont supérieures aux rejets par habitant de l'Union Européenne (28) pour 2019 (0,3 mg/hab/an).

Enfin, entre 1990 et 2019, l'Union Européenne a enregistré une baisse de 97% des rejets de HCB, passant de 5 511 kg à 171 kg. En 2019, les principaux secteurs émetteurs sont ceux de l'agriculture (38%), du résidentiel/tertiaire (22%) et de l'industrie manufacturière (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 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 (28) entre 1990 et 2019 - European emission inventory report 1990-2019 - European Environment Agency



En savoir plus

Référence impact sur la santé : Ineris - <https://substances.ineris.fr/fr/substance/1049>

Références du chapitre

- 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/>
- 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)
- 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/>
- 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>

Citepa. Rapport Secten édition 2022

Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France

Particules

Rédaction | Grégoire BONGRAND
Nadine ALLEMAND

Vérification | Vincent MAZIN

► [Télécharger les données associées au chapitre sur citepa.org/fr/secten](https://citepa.org/fr/secten)

Sommaire du chapitre

Définitions et origines.....	282
Particules totales en suspension (TSP).....	285
Particules grossières et fines (PM ₁₀).....	291
Particules fines (PM _{2,5}).....	297
Particules très fines (PM _{1,0})	303
Carbone suie (<i>black carbon</i>).....	309

Définition et origines

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 TSP pour l'acronyme anglais *Total Suspended Particles*) regroupant l'ensemble des particules en suspension dans l'air, quelle que soit leur taille,
- les **PM₁₀**, 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 PM₁₀ incluent donc les particules grossières, les particules fines et ultra fines.

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.

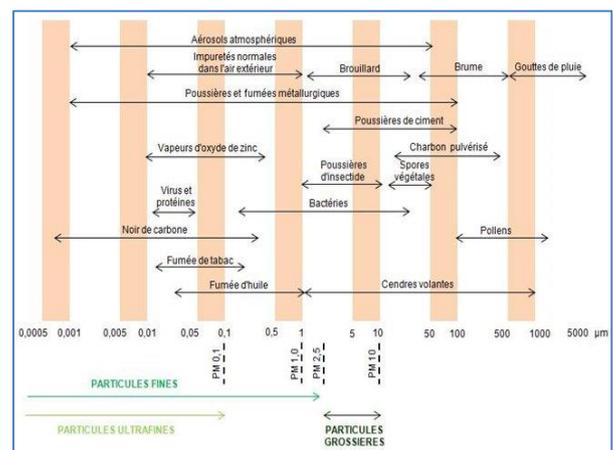
Les particules fines peuvent rester en suspension pendant plusieurs jours, voire quelques semaines et

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 1 présente la taille des particules en fonction de diverses sources d'émission.

Figure 1 : Taille des particules – échelle et ordre de grandeur



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

cardiovasculaires. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérigènes (AEE 2013).

Si les concentrations de PM_{10} et les $PM_{2,5}$ 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 (Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2020, MTE 2021). La mesure des PUF reste très complexe et embryonnaire, avec 5 sites de mesure en temps réel en 2019 sur le territoire (LCSQA 2019). En 2020, des orientations concernant la surveillance nationale de la concentration en nombre total des PM_{10} ont été définies et en 2021, les particules PM_{10} mesurées en nombre de particules ont été inscrites dans la liste des polluants d'intérêt national. Il est préconisé d'équiper une vingtaine de sites de dispositifs de mesure *ad hoc* à l'horizon fin 2021-début 2022 pour alimenter à court terme les réflexions sur le volet sanitaire. A moyen terme, le dispositif devrait comprendre 50 sites répartis sur l'ensemble du territoire, soit environ 10 % du nombre total de stations actuellement équipées pour la mesure réglementaire du NO_2 (Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2020, MTE 2021).

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 plan 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 2016, l'organisation mondiale de la santé (OMS 2016) 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 $PM_{2,5}$. Plus récemment, une étude a estimé que les émissions de particules fines liées à la combustion de combustibles fossiles étaient responsables de 8,7 millions de morts prématurées en 2018 dans le monde (Vohra et al. 2021). Dans l'UE (des 27), le nombre de décès prématurés en 2019, imputé 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 de l'environnement européenne (AEE, 2021). Les risques liés aux $PM_{2,5}$ sont les plus importants comme ces chiffres le démontrent. Pour la France, ces morts prématurées sont respectivement estimées à 29 800, 4 970 et 2 050 en 2019 selon la même source. 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 le fardeau 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.

L’AEE présente une évolution de la mortalité due à la pollution de l’air et estime que le risque associé a, au moins, diminué de moitié en Europe entre 1990 et 2019.

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).

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 en diminuant leur pouvoir réfléchissant (albédo) peut aussi être mentionné. Il contribue à la fonte accélérée des étendues glaciaires (AEE 2013).

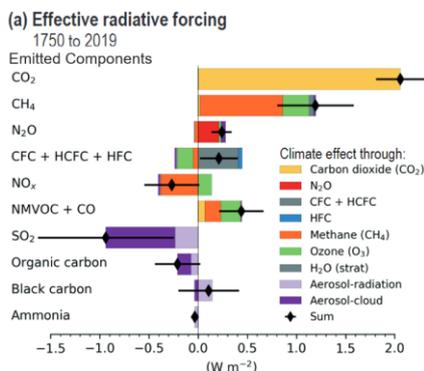


Figure 2 : Forçage radiatif des composés (IPCC-AR6-2021)

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 PM₁₀.

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).

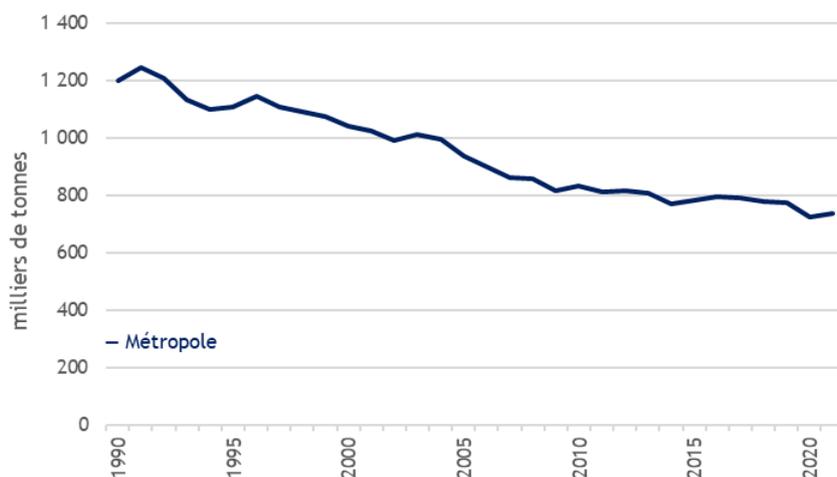
A l’émission des sources combustion notamment, les particules sont composées de fractions filtrables et condensables. Les particules filtrables sont à l’état solide ou liquide et sont piégées sur un filtre lors de la mesure de leur concentration. Les particules condensables sont à l’état gazeux dans 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 est décelé ; 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.

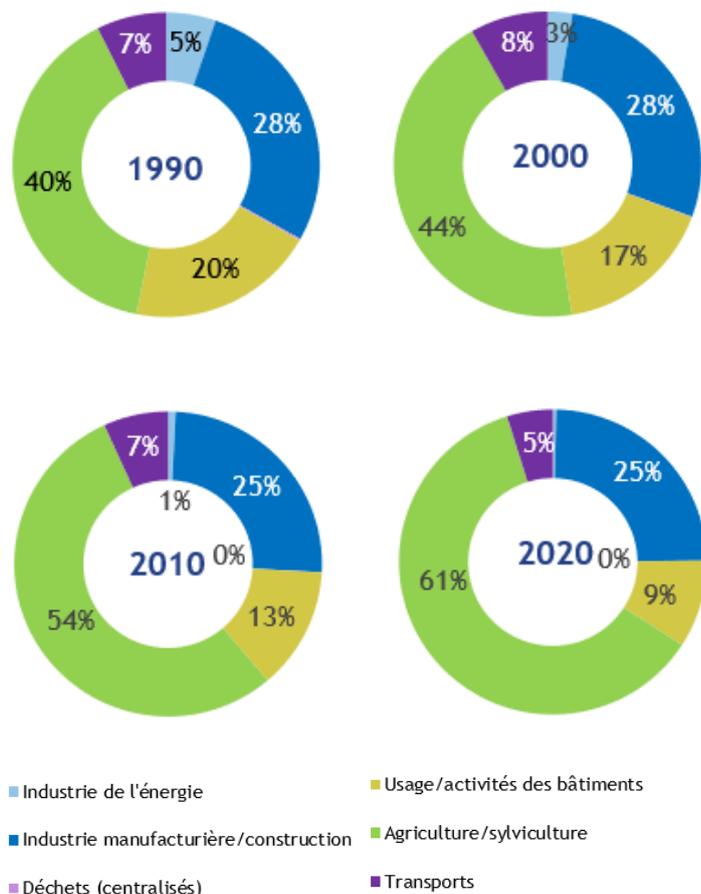
Actuellement, dans l’inventaire français, certains facteurs d’émission utilisés pour estimer les émissions annuelles de PM_{2,5} prennent bien en compte cette fraction condensable : c’est par exemple le cas pour les particules liées à l’échappement des véhicules dans le transport routier. En revanche, ce n’est pas le cas pour de nombreux 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 PM₁₀ de certains secteurs à la hausse, sur l’ensemble des années inventoriées.

En bref

Evolution des émissions de TSP en France



Répartition des émissions de TSP en France



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.

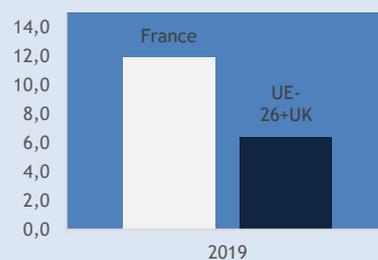
Particules secondaires issues de réactions chimiques entre gaz précurseurs (prises en compte dans les inventaires seulement pour certaines sources comme le transport).

Effets

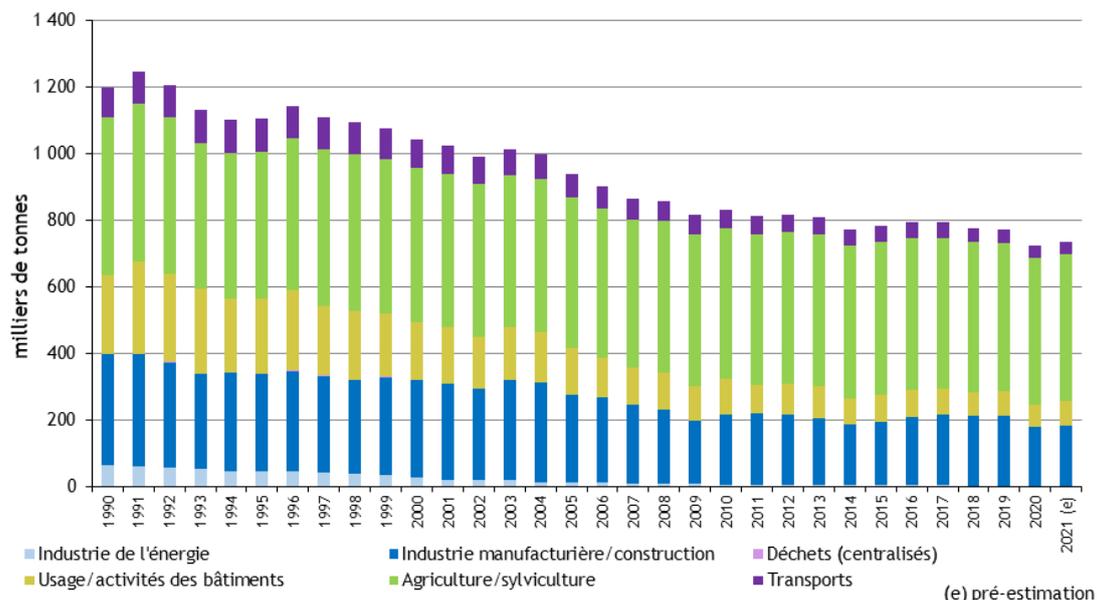
 Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

 Santé

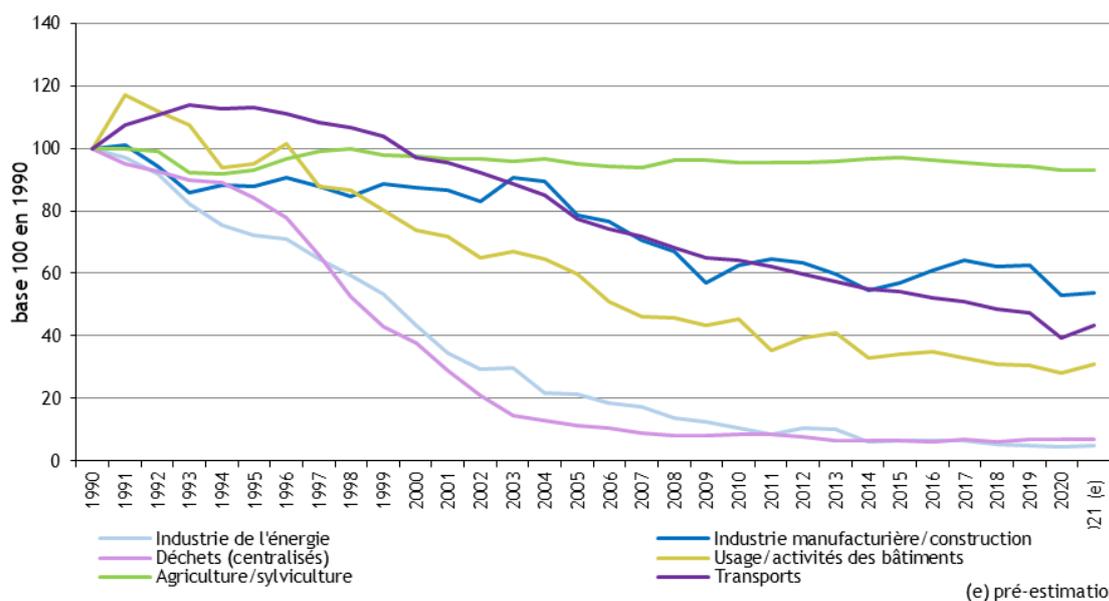
Emissions par habitant en 2019 (kg/hab)



Evolution des émissions dans l'air de TSP depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de TSP en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de TSP (kt/an)
Périmètre : Métropole

	1990	2000	2010	2019	2020	2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
Industrie de l'énergie	62,7	27,0	6,6	3,1	2,7	3,0	0%	0%	-60,0	-96%	-0,4	-12%	+0,3	+12%
Industrie manufacturière et construction	333,4	291,3	208,6	208,9	176,5	179,1	24%	24%	-156,9	-47%	-32,4	-16%	+2,6	+1%
Traitement centralisé des déchets	2,2	0,8	0,2	0,1	0,1	0,1	0%	0%	-2,1	-93%	0,0	0%	+0,0	+0,4%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	237,3	174,6	107,5	72,8	67,1	73,2	9%	10%	-170,2	-72%	-5,7	-8%	+6,1	+9%
Agriculture / sylviculture	473,8	461,2	452,8	446,5	440,5	441,1	61%	60%	-33,3	-7%	-5,9	-1%	+0,6	+0,1%
Transports	87,8	85,1	56,5	41,6	34,7	37,9	5%	5%	-53,1	-61%	-6,9	-17%	+3,2	+9%
Transport hors total	14,7	16,9	15,1	10,7	5,6	5,6								
TOTAL national	1 197	1 040	832	773	722	734	100%	100%	-475,6	-40%	-51,3	-7%	12,8	2%

Analyse

Enjeux

Effets sanitaires

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 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, 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 169% en 2020.

A noter

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.

De plus, dans l'inventaire national, la part des particules condensables est complexe à estimer dans de nombreux secteurs et est en majorité non incluse.

Enfin, à l'heure actuelle, nous ne savons pas quantifier les recombinaisons qui peuvent se produire dans l'atmosphère et qui sont à l'origine de la formation des particules dites secondaires. Ainsi, ce type de particules n'est pas inclus dans les résultats d'émissions nationales de TSP.

Tendance générale

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 domestiques. Pour les autres secteurs (hors transport et engins mobiles non routiers), les émissions de particules proviennent principalement de la combustion de la biomasse.

Tous les secteurs ont contribué à la diminution continue observée, en dehors de l'agriculture/sylviculture qui est plutôt en stagnation. 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 très fortement réduites sur la période (de plus de deux tiers) notamment grâce au renouvellement des équipements individuels brûlant du bois et à l'amélioration de leurs performances.

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 toujours contributrices à ces émissions sont le chauffage urbain (stable sur la période) suivi du raffinage de pétrole (en diminution depuis 1990 du fait de la réduction de l'activité mais des réglementations sur les émissions aussi), la production d'électricité (en diminution du fait de la fermeture des centrales à charbon) et 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). La forte baisse observée depuis 1990 de ce secteur 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.

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 sont en constante diminution. 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 en 2020. En effet, un recul des émissions nationales de TSP de 7% est observé entre 2019 et 2020, avec une contribution de tous les secteurs. En particulier, les secteurs du transport et de l'industrie manufacturière et de la construction ont connu les plus fortes réductions d'émissions avec respectivement -17% et -16% entre 2019 et 2020. En revanche, le secteur de l'agriculture et de la sylviculture, qui contribue à hauteur de 61% aux émissions de TSP en 2020, a connu une plus faible réduction des émissions de TSP avec -1% entre 2019 et 2020. Enfin, en 2021, les pré-estimations révèlent que les émissions totales de TSP repartent à la hausse de 1,7% par rapport à 2020 (bien que toutefois inférieures de 5% par rapport aux niveaux de 2019) suite à un « retour à la normale » de certaines activités comme pour le transport ou l'industrie manufacturière.

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 *réglementations 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.

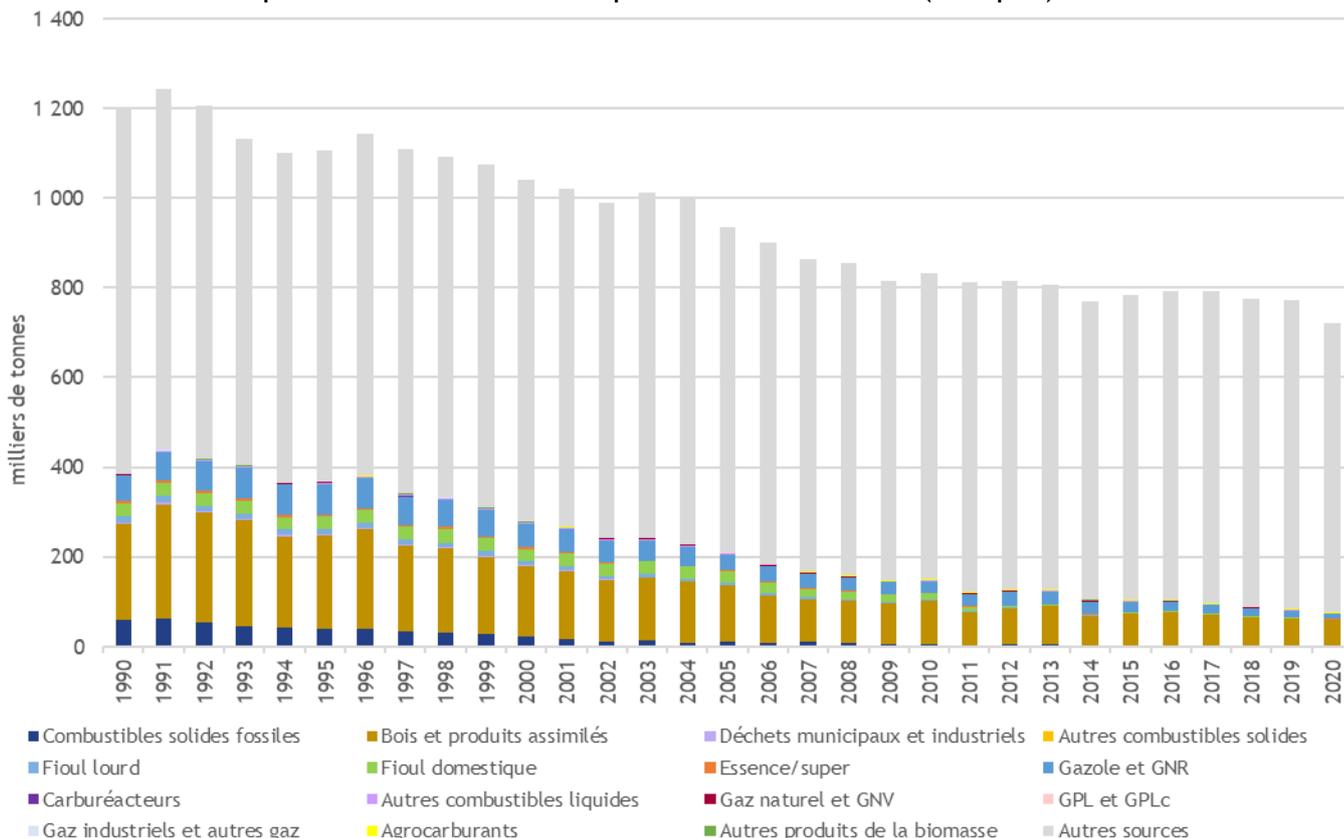
Enfin, il est important de mentionner que les émissions de TSP pourraient augmenter dans les prochaines années du fait du développement de la combustion de la biomasse, qui est plus émettrice de particules que les combustibles qu'elle substitue généralement (fioul, gaz naturel). En effet, dans le cadre 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 réglementaires 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 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 la hausse des émissions de particules.

Part des émissions liée 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 désormais qu’environ 11% 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 (environ 32%).

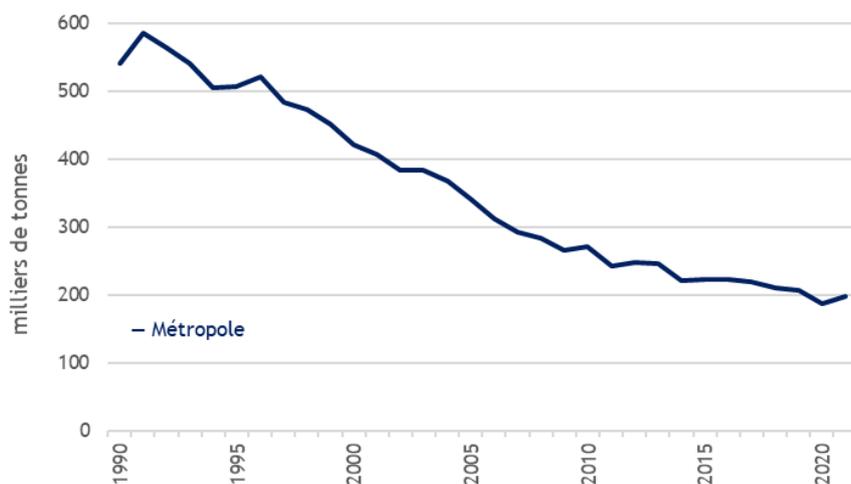
Parmi les combustibles, la consommation de bois est et a toujours été le principal émetteur de TSP représentant 56% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 75% en 2020. La part grandissante du bois dans les émissions, alors même que ses émissions propres ont diminué de plus de 73%, est due notamment à la substitution progressive des combustibles solides fossiles et à l’introduction en 2011 de filtres à particules sur les véhicules diesel.

Répartition des émissions de TSP par combustible en France (Métropole)

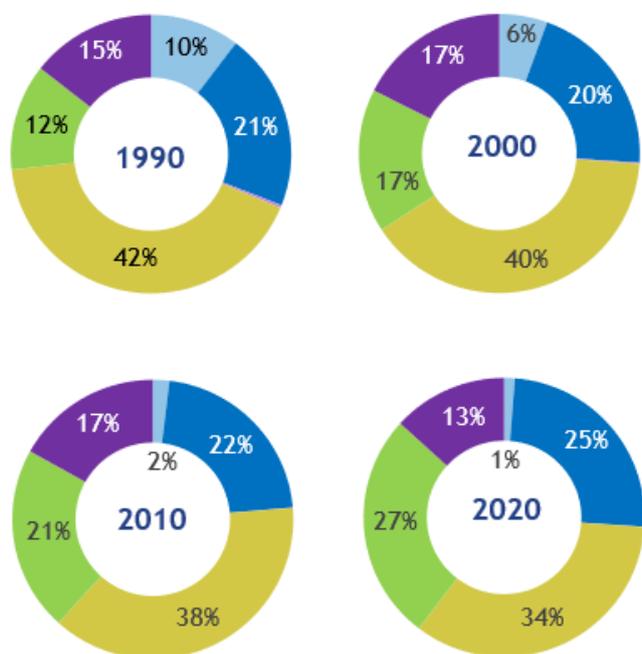


En bref

Evolution des émissions de PM₁₀ en France



Répartition des émissions de PM₁₀ en France



- Industrie de l'énergie
- Industrie manufacturière/construction
- Déchets (centralisés)
- Usage/activités des bâtiments
- Agriculture/sylviculture
- Transports

PM₁₀

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 PM₁₀ 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.

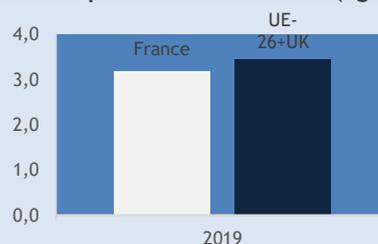
Origine
Phénomènes naturels (érosion éolienne, embruns marins par exemple) ou anthropiques (combustion, industrie, chantiers, transport et agriculture).

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 (NH₃) et des oxydes d'azote.

Effets
 Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

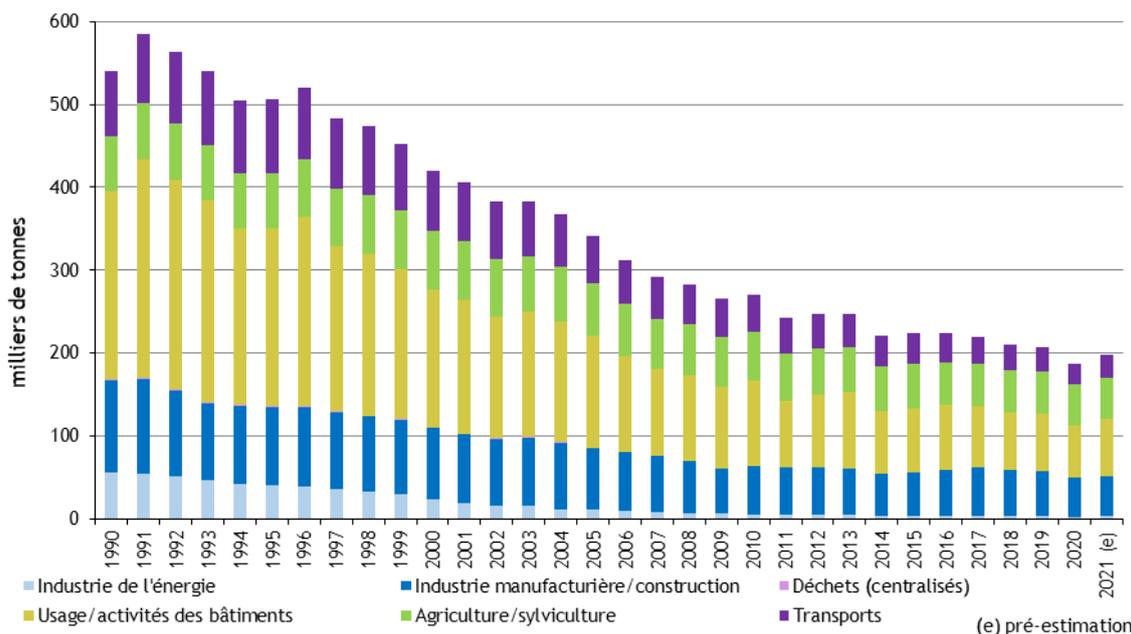
 Santé

Emissions par habitant en 2019 (kg/hab)

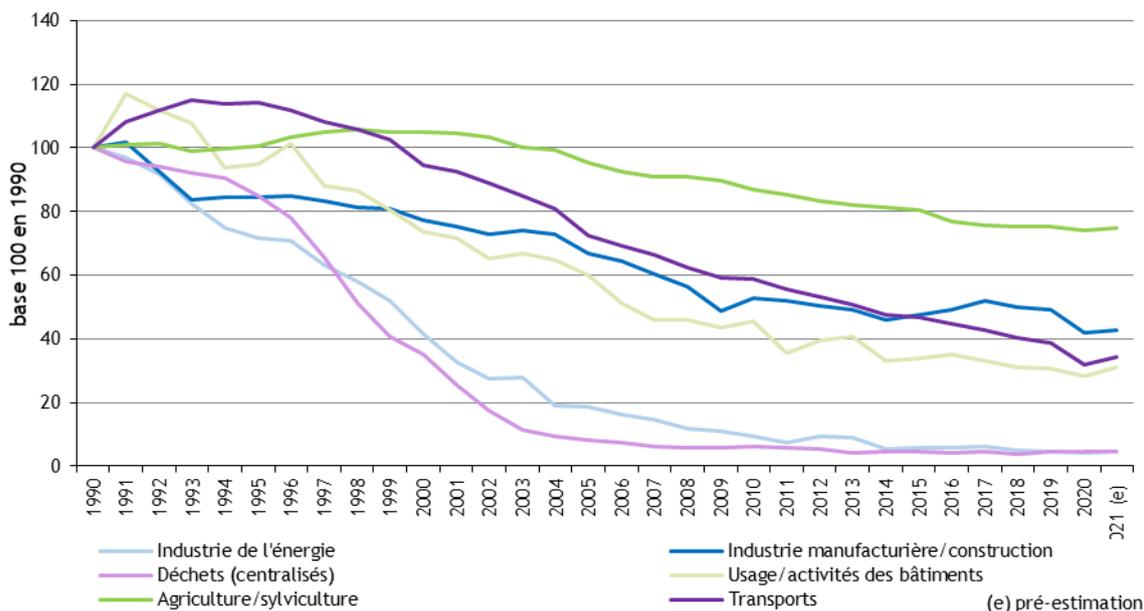


PM₁₀

Evolution des émissions dans l'air de PM₁₀ depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de PM₁₀ en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de PM ₁₀ (kt/an) Périmètre : Métropole						2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
	1990	2000	2010	2019	2020				-53,5	-96%	-0,3	-12%	+0	+11%
Industrie de l'énergie	55,8	23,3	5,1	2,6	2,3	2,6	1%	1%	-53,5	-96%	-0,3	-12%	+0	+11%
Industrie manufacturière et construction	111,5	86,3	58,8	54,8	46,6	47,8	25%	24%	-64,9	-58%	-8,3	-15%	+1	+3%
Traitement centralisé des déchets	1,8	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0%	0%	-1,7	-96%	0,0	-0,5%	+0	+0,5%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	226,2	166,5	102,8	69,7	64,3	70,0	34%	36%	-162,0	-72%	-5,4	-8%	+6	+9%
Agriculture / sylviculture	66,7	70,1	58,0	50,1	49,5	49,8	26%	25%	-17,2	-26%	-0,6	-1%	+0	+1%
Transports	78,0	73,7	45,7	30,2	24,8	26,9	13%	14%	-53,2	-68%	-5,4	-18%	+2	+8%
Transport hors total	14,0	16,1	14,4	10,2	5,3	5,3								
TOTAL national	540,0	420,6	270,6	207,5	187,5	197,1	100%	100%	-352,5	-65%	-20,0	-10%	+9,7	+5%

Analyse

Enjeux

Effets sanitaires

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 PM₁₀.

Effets environnementaux

En ce qui concerne l'impact que peuvent avoir les PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 en révision en 2021/2022.

En ce qui concerne les émissions de PM₁₀, 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 PM₁₀ 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 PM₁₀, 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'Etat a condamné l'Etat 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 PM₁₀ à Paris suite aux divers avertissements. Début 2022, les mesures prises pour le second semestre 2021 seront examinées par le Conseil d'Etat et pourront éventuellement conduire à une nouvelle astreinte.

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 62,3 % en 2020.

A noter

Il est important de noter que, dans l'inventaire national, certaines émissions de PM₁₀ 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 émises est complexe à estimer dans de nombreux secteurs et est en majorité non encore incluse.

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.

Tendance générale

Le niveau actuel des émissions de particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM_{10}) est le plus bas observé depuis 1990. En France métropolitaine, tous les secteurs sont émetteurs de PM_{10} , mais les secteurs contribuant majoritairement aux émissions de ce polluant sont :

- le résidentiel/tertiaire, du fait de la combustion du bois et, dans une moindre mesure, du charbon et du fioul,
- l'industrie manufacturière, avec notamment le secteur de la construction,
- l'agriculture/sylviculture, notamment du fait des élevages et des labours des cultures,
- le transport routier, 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 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.

La baisse globale des émissions observées depuis 1990 est de -65% et présente dans tous les secteurs. 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.

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, en 2019, les émissions de PM_{10} ont connu une baisse significative (-6% entre 2017 et 2019), notamment suite à des 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. Enfin, en 2020, les émissions de PM_{10} ont connu un recul important (-10% entre 2019 et 2020), notamment dû à la crise sanitaire de la Covid-19 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. D'après nos pré-estimations, les émissions nationales de PM_{10} devraient réaugmentées en 2021 (environ +5% par rapport à 2020) avec notamment la reprise des activités du transport et de l'industrie et également un hiver plus rigoureux.

Cependant, en faisant abstraction de l'année 2020 et de sa particularité contextuelle, certains secteurs comme l'industrie manufacturière sont plutôt stagnants 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 même être en légère augmentation comparativement aux niveaux de 2014. 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 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 et 2014, 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, favorise la baisse des émissions du résidentiel. Une façon de l'observer peut se faire en comparant les données de consommations de bois résidentiel et, par exemple, celles de 2009, 2015 et 2019 sont du même ordre de grandeur tandis que les niveaux d'émissions sont de plus en plus faibles.

Les PM₁₀ attirent de plus en plus d'intérêt ces dernières années, notamment à cause des risques sanitaires causées par les particules dites « fines ». Il est projeté que les émissions de PM₁₀ continuent de diminuer au cours des prochaines années. Pour ce faire, les différentes mesures se recourent 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 médias filtrants laissent à croire que des réductions supplémentaires sont réalisables.

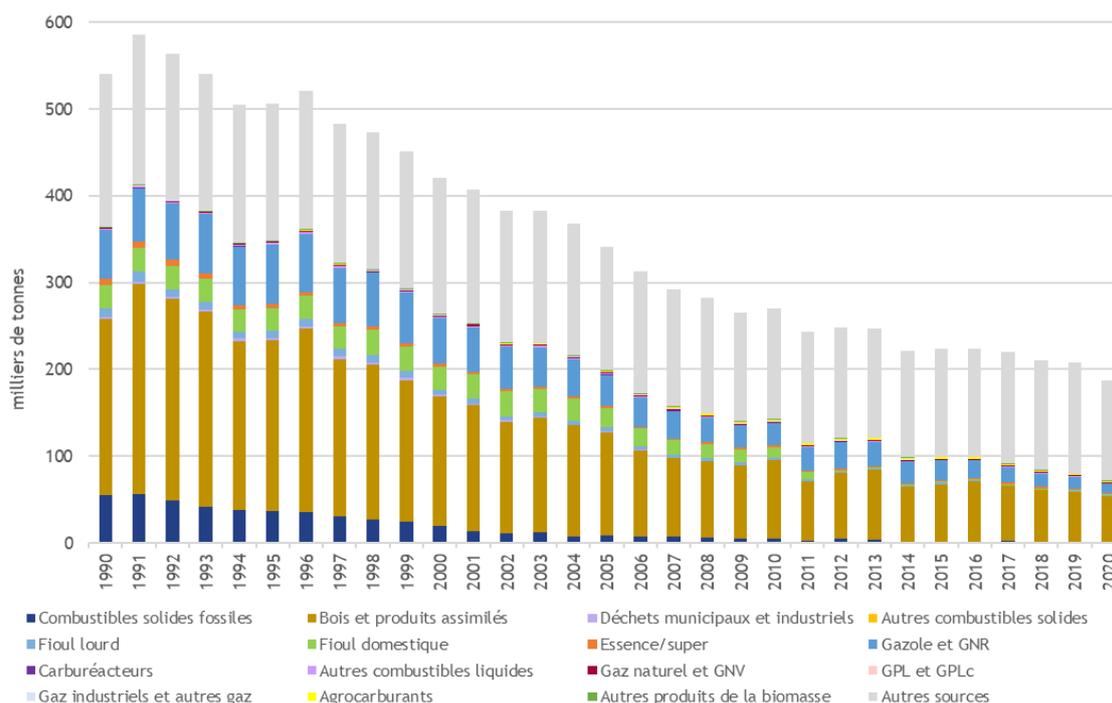
Cependant, la part croissante de la biomasse dans la consommation totale de combustibles, qui est une source non négligeable de particules, pourrait affecter l'évolution des émissions de PM₁₀.

Part des émissions liée aux combustibles

Pour les PM₁₀, 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 (68% en 1990 contre 38% en 2020). Ceci est dû notamment aux progrès disparates réalisés entre les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 80% et 34% 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.

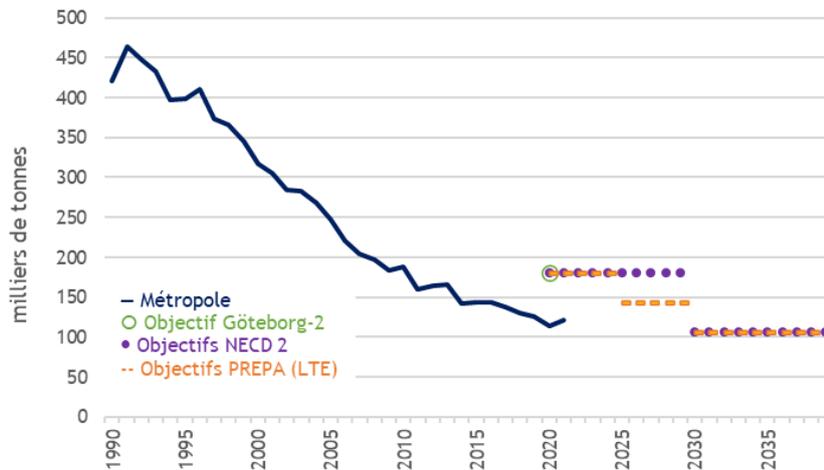
Parmi les combustibles, la consommation de bois est le principal contributeur d'émissions de PM₁₀, représentant environ 56% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 74% en 2020. Pourtant, la diminution des émissions de la combustion de bois a grandement participé à la réduction des émissions totales de PM₁₀ avec une réduction de ses émissions de presque 74%. 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 PM₁₀ 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 81% grâce aux progrès technologique et à la mise en place de filtres à particules en 2011, alors même que sa contribution totale aux émissions de combustibles était comprise entre 15% et 25%.

Répartition des émissions de PM₁₀ par combustible en France (Métropole)

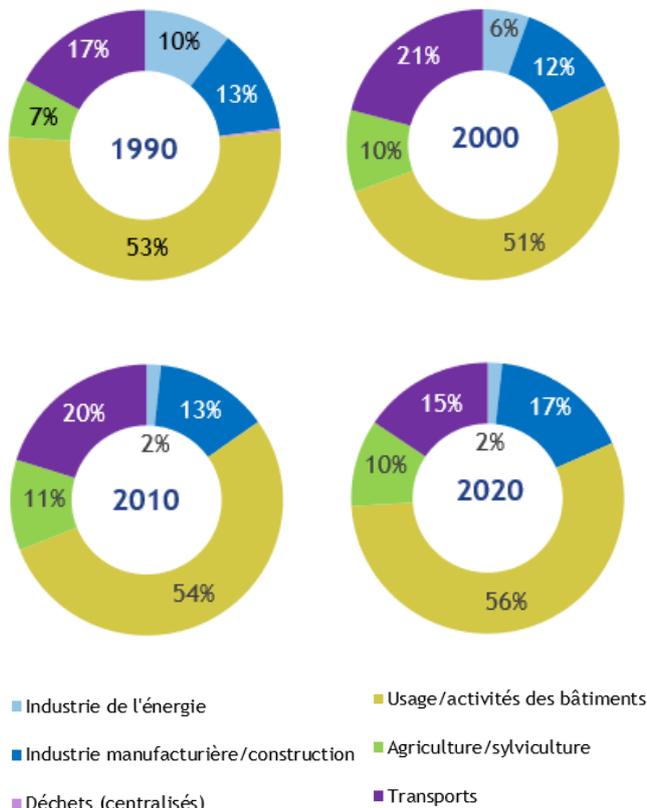


Emissions de PM_{2,5} bref

Evolution des émissions de PM_{2,5} en France



Répartition des émissions de PM_{2,5} en France



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 (NO_x, NH₃, SO₂, 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

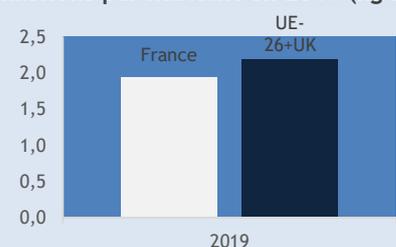


Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

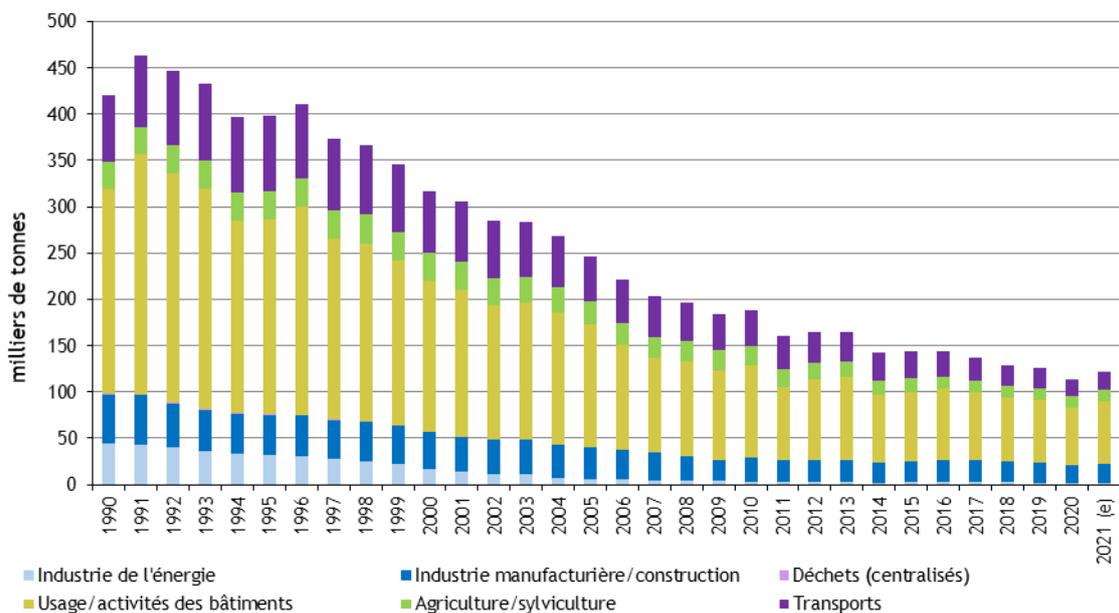


Santé

Emissions par habitant en 2019 (kg/hab)

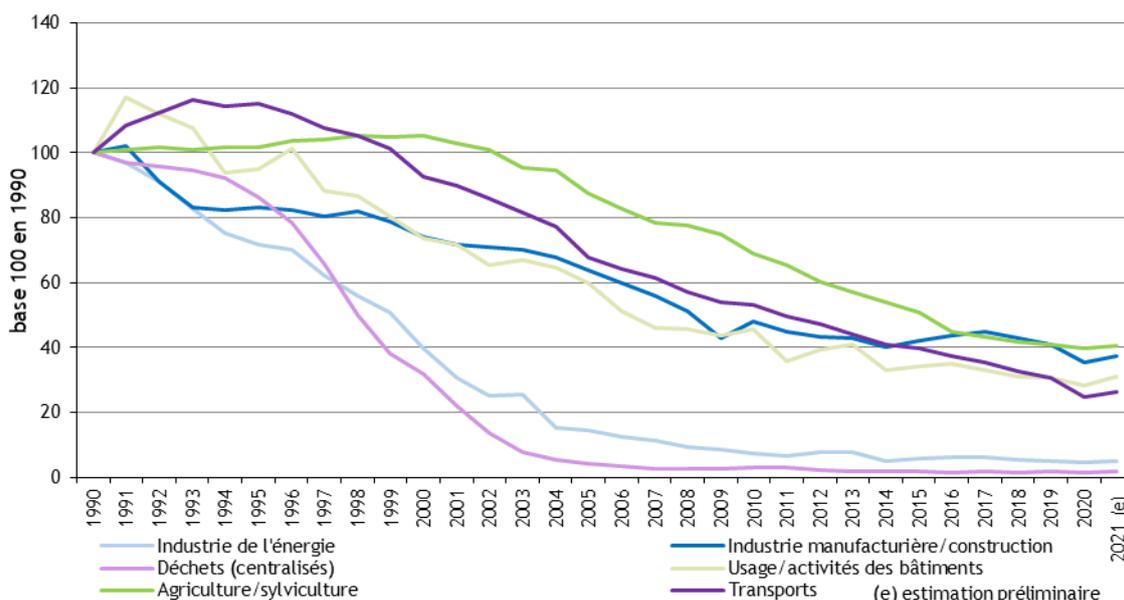


Evolution des émissions dans l'air de PM_{2,5} depuis 1990 en France (Métropole)



(e) pré-estimation

Evolution des émissions dans l'air de PM_{2,5} en base 100 en 1990 en France (Métropole)



(e) estimation préliminaire

Emissions de PM _{2,5} (kt/an) Périmètre : Métropole						2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
	1990	2000	2010	2019	2020				-1990	-1990	-2019	-2019	-2020	-2020
Industrie de l'énergie	43,8	17,4	3,2	2,2	2,0	2,2	2%	2%	-41,9	-96%	-0,2	-11%	0,2	11%
Industrie manufacturière et construction	52,9	39,1	25,4	21,6	18,8	19,7	17%	16%	-34,1	-64%	-2,8	-13%	0,9	5%
Traitement centralisé des déchets	1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	-1,2	-98%	0,0	-1%	0,0	1%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	221,4	163,0	100,7	68,2	63,0	68,7	56%	57%	-158,4	-72%	-5,2	-8%	5,7	9%
Agriculture / sylviculture	29,5	31,1	20,3	12,1	11,7	12,0	10%	10%	-17,7	-60%	-0,4	-3%	0,2	2%
Transports	71,5	66,2	37,9	22,0	17,6	18,8	16%	15%	-53,9	-75%	-4,4	-20%	1,2	7%
Transport hors total	13,3	15,3	13,7	9,7	5,0	5,0								
TOTAL national	420,4	317,2	187,5	126,2	113,1	121,3	100%	100%	-307,2	-73%	-13,1	-10%	+8,2	+7%

Analyse

Enjeux

Effets sanitaires

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}, ont attiré énormément l'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 29 800 personnes en France en 2019 selon le dernier rapport de l'AEE (AEE 2021). (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 PM₁₀ 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 en révision en 2021/2022.

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. A titre informatif, en 2020, le niveau d'émissions de PM_{2,5} est inférieur à celui de 2005 de 54% (avant la crise sanitaire, en 2019, la réduction était de 49% par rapport à 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/m³ doit être respectée. Les concentrations moyennes journalières et annuelles recommandées par l'OMS, respectivement de 15 et 5 µg/m³ suite à la mise à jour de septembre 2021 (respectivement de 25 et 10 µg/m³ auparavant), pourraient également devenir les nouveaux objectifs à respecter pour certains pays comme la France dans un avenir proche. La Commission européenne, doit présenter un nouveau projet de directive qualité de l'air à l'automne 2022.

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 49,2 % en 2020.

A noter

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 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.

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 aussi que 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.

Tendance générale

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. Ces émissions sont induites par tous les secteurs. Les principaux secteurs contributeurs sont :

- le résidentiel/tertiaire, dont la principale source est la combustion de la biomasse, majoritairement domestique, ainsi que, dans une moindre mesure, de fioul,
- l'industrie manufacturière, dont les principales sources sont les chantiers de construction/BTP, la sidérurgie et l'exploitation des carrières,
- le transport, 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 suite à 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.

Depuis 1990, les émissions totales ont été réduites de plus de 73%. 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 favorable 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.

Évolution récente

Lors des dernières années, les émissions globales 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 moins favorables. 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.

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 10% 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 8%, 13% et 20% entre 2019 et 2020, tandis que le secteur de l'agriculture/sylviculture qui est aussi un contributeur important a connu une baisse plus faible (3%).

D'après les pré-estimations réalisées pour l'année 2021, les émissions de $PM_{2,5}$ pourraient connaître un « effet rebond » et une augmentation d'environ 7,3% est attendue comparativement à 2020. En effet, il est prévu que les activités des secteurs du transport et de l'industrie manufacturière et construction retrouvent un niveau semblable à la période d'avant crise. De plus, une hausse des émissions de $PM_{2,5}$ est attendue en partie aussi à la rigueur de l'hiver 2021 qui était bien plus importante que sur la période 2018-2020.

En ne tenant pas compte de l'année 2020 qui constitue un contexte particulier, 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 pas 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 de la biomasse).

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 au cours des prochaines années. Les différentes mesures (à venir et existantes) concernant les particules en suspension sont, par exemple, les arrêtés sur les installations de combustion, 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 dans le résidentiel), associée à des technologies de réduction comme les médias filtrants, 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 primordial du climat et, également, parce que la consommation de bois va être de plus en plus importante dans le mix énergétique en réponse à des contraintes liées au réchauffement climatique.

Part des émissions liée 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 61% en 2020). Une des explications réside dans la différence des progrès effectués pour réduire les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 80% 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.

Parmi les combustibles, la consommation de biomasse est le principal contributeur aux émissions de $PM_{2,5}$, représentant environ 58% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 75% en 2020. Il est important de noter que, pour autant, les émissions de la combustion de bois ont diminué entre 1990 et 2020 de 74%, 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 dans le chauffage résidentiel. 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 -96% et -82% grâce 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, alors même que sa contribution totale aux émissions de combustibles varie entre 15% et 26% sur la série.

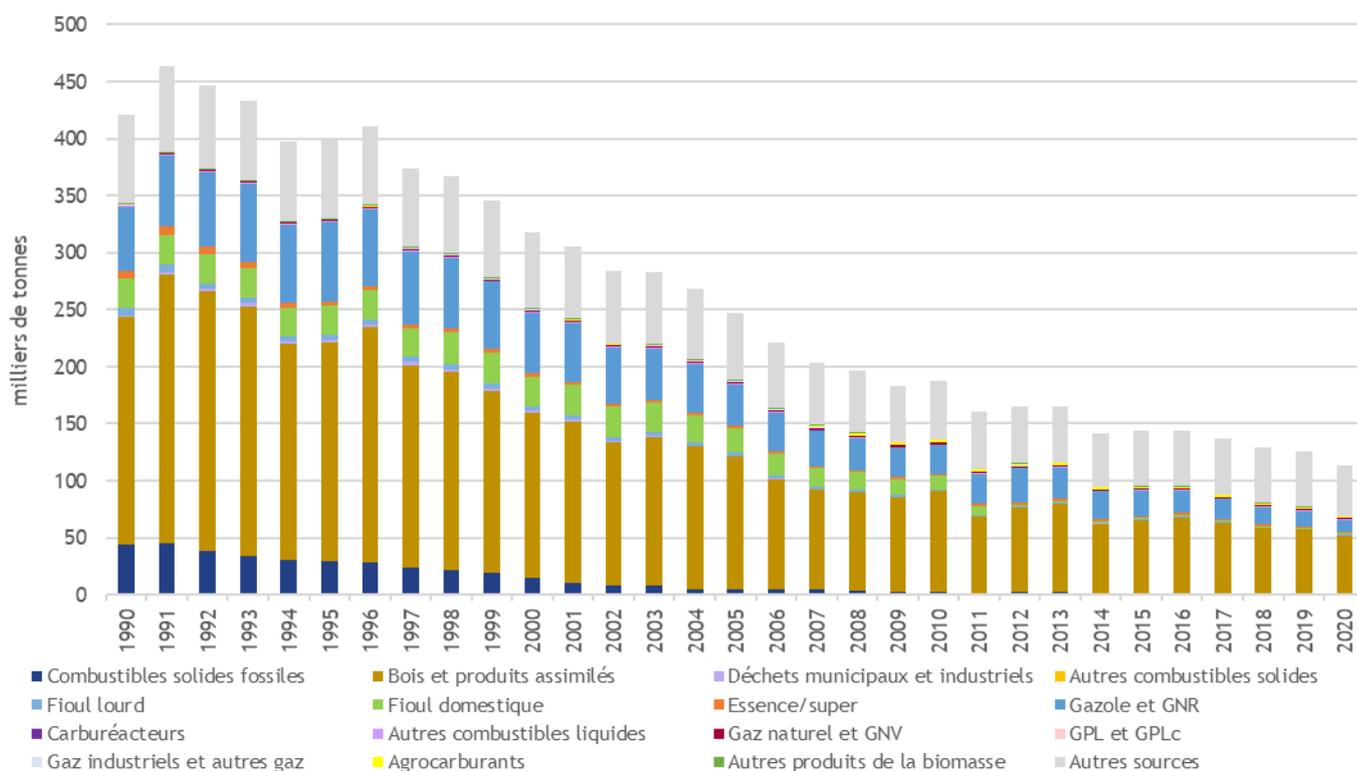
Le 23 juillet 2021, la Ministre de la Transition écologique a publié un plan d'actions sur le chauffage au bois qui vise à atteindre entre 2020 et 2030, d'une part, une baisse de plus de 30% des émissions annuelles de $PM_{2,5}$ issues du chauffage

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 **11 mesures réparties sur six axes** :

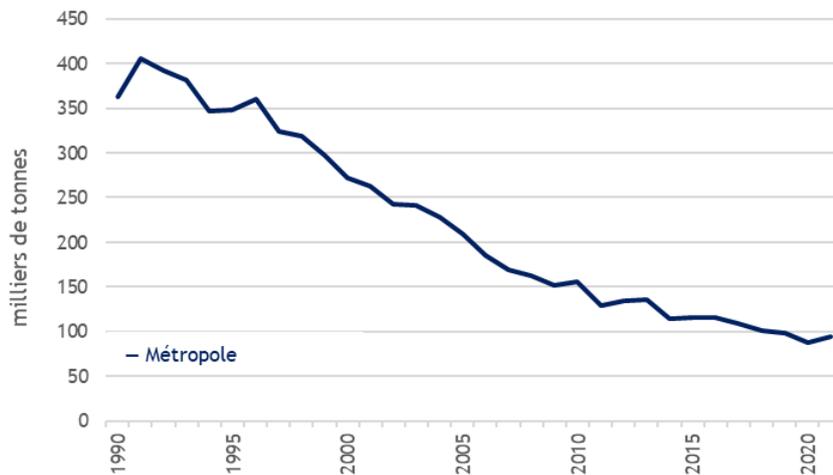
- 1) Sensibiliser le grand public à l'impact sur la qualité de l'air du chauffage au bois avec des appareils peu performants,
- 2) Renforcer et simplifier les dispositifs d'accompagnement pour accélérer le renouvellement des appareils de chauffage au bois,
- 3) Améliorer la performance des nouveaux équipements de chauffage au bois,
- 4) Promouvoir l'utilisation d'un combustible de qualité,
- 5) Encadrer le chauffage au bois dans chaque zone PPA, en prenant des mesures adaptées aux territoires pour réduire les émissions de particules fines,
- 6) Améliorer les connaissances sur l'impact sanitaire des particules issues de la combustion du bois.

Répartition des émissions de PM_{2.5} par combustible en France (Métropole)

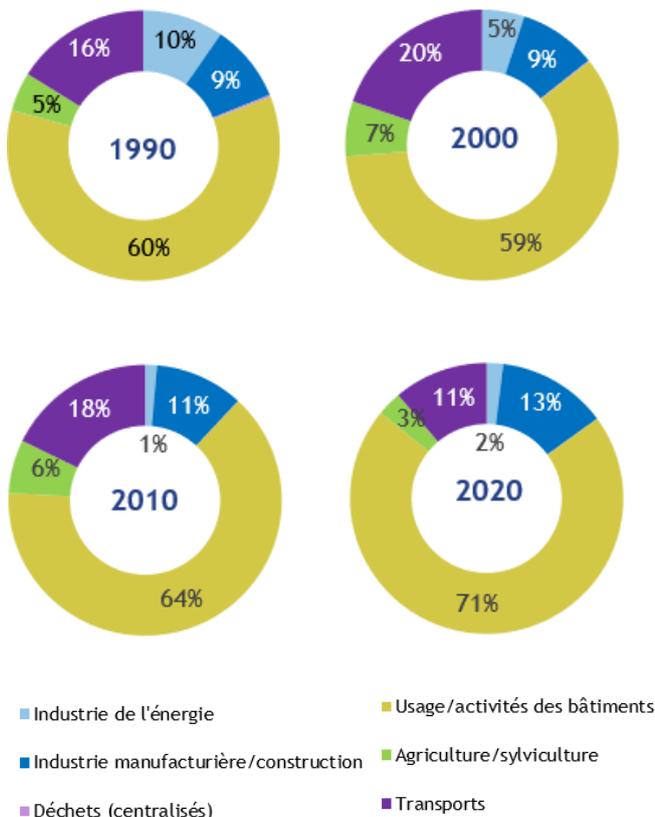


Emissions de PM_{1,0} en bref

Evolution des émissions de PM_{1,0} en France



Répartition des émissions de PM_{1,0} en France



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.

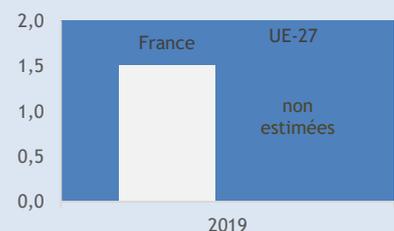
Origine
Sources anthropiques : combustion, industrie, transport et agriculture.
Source naturelle : érosion éolienne, etc. (source mineure dans cette taille de PM).

Phénomènes associés
Particules primaires issues de rejets directs dans l'air.
Particules secondaires issues de recombinaison chimique entre polluants (NO_x, NH₃, SO₂, 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.

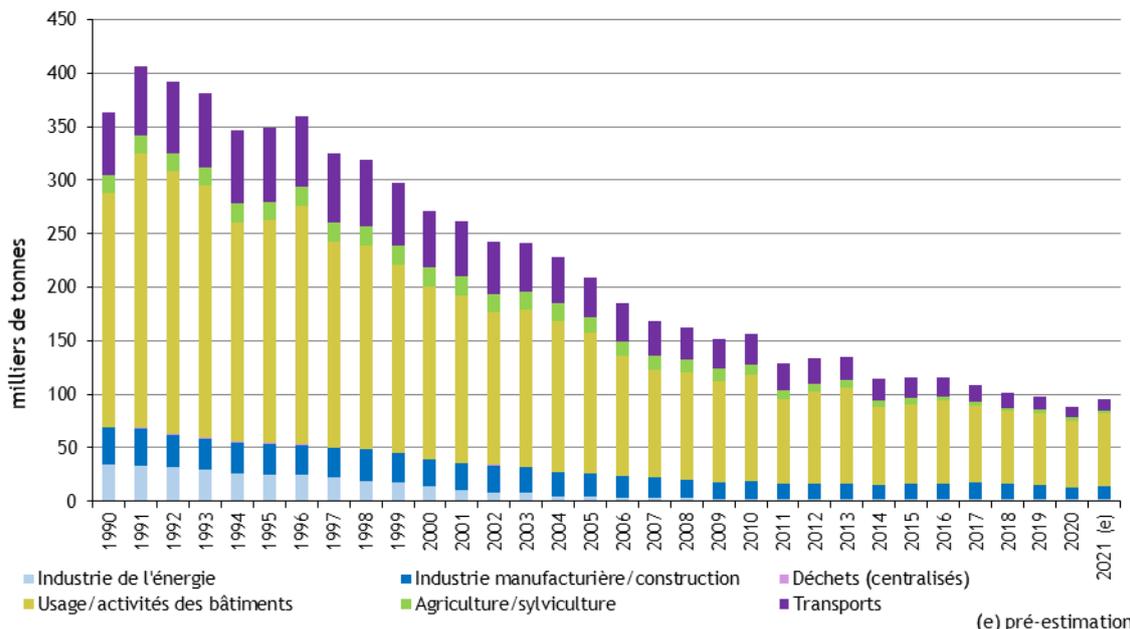
Effets
☀️ Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

⚠️ Santé

Emissions par habitant en 2019 (kg/hab)

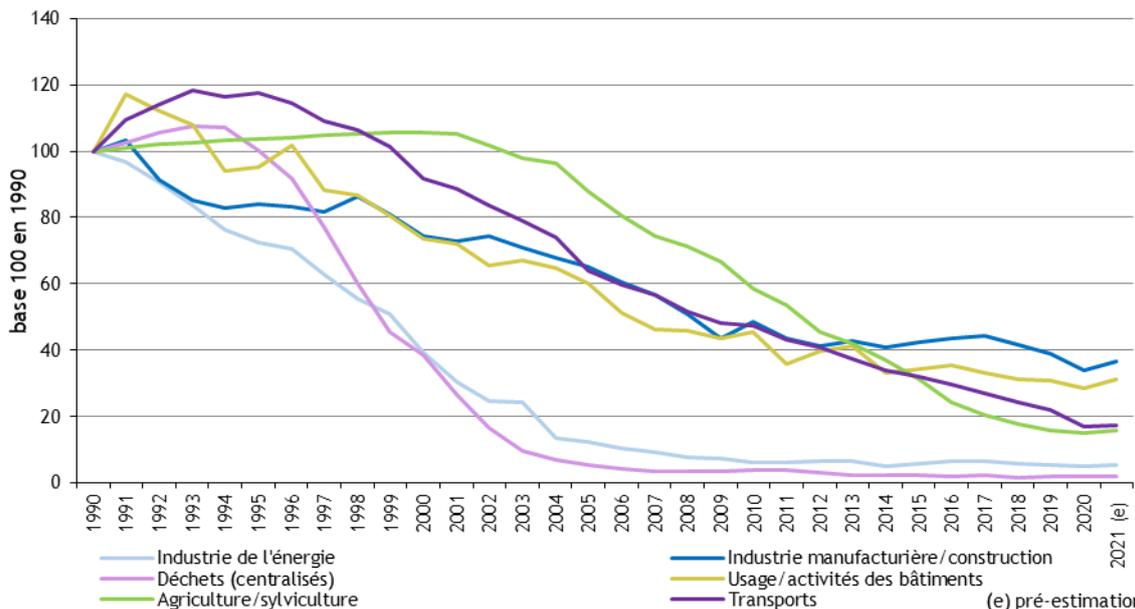


Evolution des émissions dans l'air de PM_{1,0} depuis 1990 en France (Métropole)



(e) pré-estimation

Evolution des émissions dans l'air de PM_{1,0} en base 100 en 1990 en France (Métropole)



(e) pré-estimation

Emissions de PM _{1,0} (kt/an) Périmètre : Métropole							% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
	1990	2001	2010	2019	2020	2021 (e)								
Industrie de l'énergie	34,8	10,6	2,2	1,9	1,7	1,9	2%	2%	-33,1	-95%	-0,2	-11%	+0,2	+10%
Industrie manufacturière et construction	33,7	24,5	16,4	13,1	11,5	12,3	13%	13%	-22,2	-66%	-1,6	-12%	+0,8	+7%
Traitement centralisé des déchets	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	-0,9	-98%	-0,0	-1%	+0,0	+1%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	218,2	157,0	99,6	67,5	62,4	68,0	71%	72%	-155,9	-71%	-5,2	-8%	+5,6	+9%
Agriculture / sylviculture	17,0	17,8	10,0	2,7	2,5	2,7	3%	3%	-14,4	-85%	-0,1	-4%	+0,1	+6%
Transports	58,5	51,8	27,7	12,9	9,8	10,1	11%	11%	-48,6	-83%	-3,0	-24%	+0,2	+2%
Transport hors total	12,2	11,9	12,5	8,9	4,6	4,6								
TOTAL national	363,1	262,0	155,9	98,1	87,9	94,9	100%	100%	-275,2	-76%	-10,2	-10%	+7,0	+8%

Analyse

Enjeux

Effets sanitaires

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), ont attiré une forte 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 même 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 PM₁₀ 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 en révision en 2021/2022. 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 ». Aucune incertitude n'est évaluée pour les PM_{1,0}.

A noter

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.

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.

Tendance générale

Le niveau actuel des émissions de PM_{1,0} est le plus bas observé depuis 1990. 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 du résidentiel/tertiaire (71% en 2020), 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 et de l'industrie manufacturière 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.

Sur la période étudiée, les émissions ont baissé de 76%. Cette tendance à la baisse est observée sur l'ensemble des secteurs sauf pour le transport maritime, fluvial et aérien (relativement stables). Le transport maritime devrait voir ses émissions de PM baisser prochainement, suite à 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. Toutefois, 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 pour la combustion de la biomasse (secteur du résidentiel/tertiaire) 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).

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 et 2019, le climat très doux a entraîné une baisse nette de la consommation énergétique du résidentiel/tertiaire, contrairement à 2012, 2013 et 2016, 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 17,5%, soulignant les progrès de réduction effectués encore récemment.

L'année 2020 constitue une situation exceptionnelle suite à la crise sanitaire de la Covid-19, avec le niveau le plus bas observé depuis 1990, où la réduction des émissions de $PM_{1,0}$ par rapport à 2019 est de 10%. En effet, suite à 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 24% 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 8% 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.

D'après les pré-estimations réalisées pour l'année 2021, les émissions de $PM_{1,0}$ pourraient réaugmenter d'environ 8% suite à un effet rebond et une reprise des activités de certains secteurs comme le transport et l'industrie manufacturière, et également du fait que l'hiver 2021 était bien plus rigoureux que celui de 2020.

En ne considérant pas l'année 2020 qui était spécifique de par la situation sanitaire, 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, grâce aux forts progrès réalisés auparavant via des équipements de traitement des fumées. En ce qui concerne 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 réglementations 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 a atteint en 2019 le niveau le plus bas observé sur la série temporelle (-8% comparativement à 2018, notamment grâce à la baisse de la sidérurgie) après avoir été assez stable et avoir oscillé autour de 14-15 kt depuis 2011.

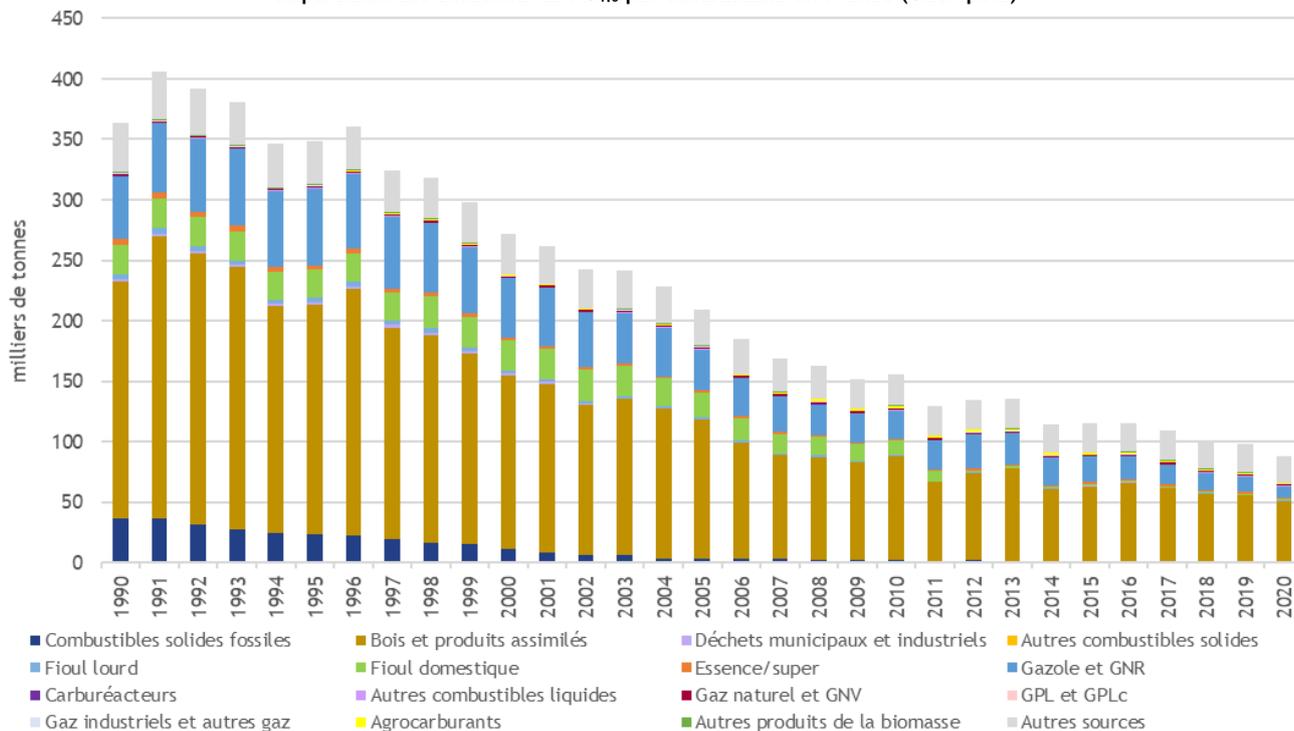
De ce fait, il est donc anticipé que les émissions de $PM_{1,0}$ continuent d'être réduites dans les prochaines années. Les différentes mesures (à venir et existantes) concernant les particules totales en suspension comme, par exemple, les arrêtés sur les installations de combustion et les normes visant 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 liée 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 (89% en 1990 contre 75% en 2020). Ceci s'explique par les rythmes irréguliers auxquels les émissions énergétiques et non-énergétiques décroissent, avec des réductions respectives de 79% et 46% 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 est le principal émetteur de PM_{1,0} en France, contribuant à hauteur de 61% en 1990 et 76% en 2020 aux émissions énergétiques. Pourtant, les émissions de la biomasse ont fortement diminué entre 1990 et 2020, atteignant des réductions de plus de 74%, 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 des intérêts liés aux émissions de gaz à effet de serre. Parmi eux, les combustibles fossiles ont été délaissés au fur et à mesure, se traduisant par une baisse de leurs émissions de plus de 98% comparativement à 1990. D'autres combustibles comme ceux 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 96% et 81%, 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)

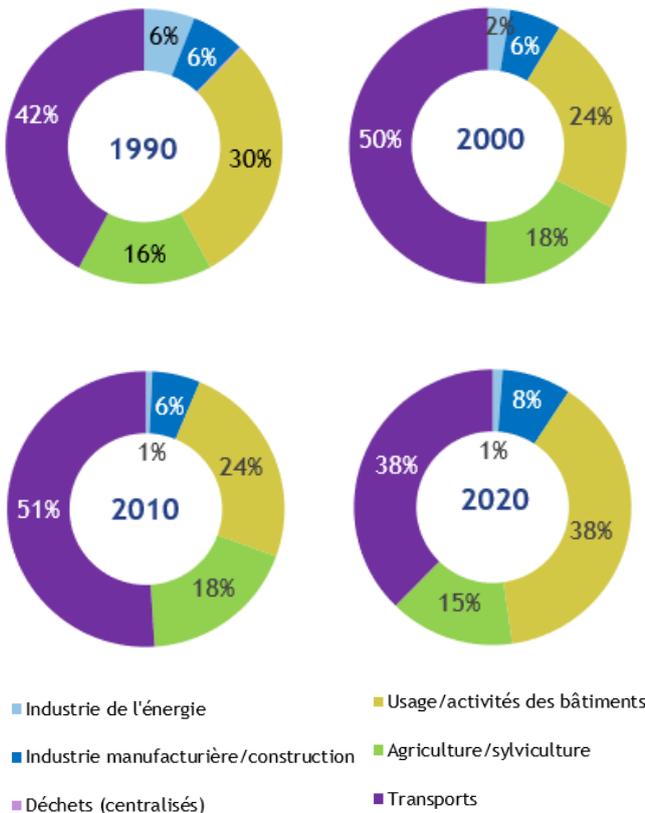


Emissions de carbone suie en bref

Evolution des émissions de carbone suie en France



Répartition des émissions de carbone suie en France



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.

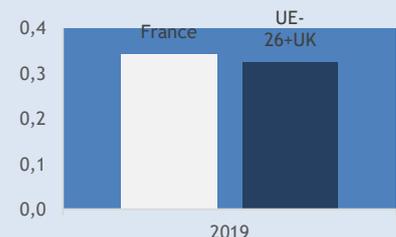
Source naturelle : feux de forêt et de végétation.

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 CO₂ dû à sa courte durée de vie dans l'atmosphère, de 3 à 8 jours)

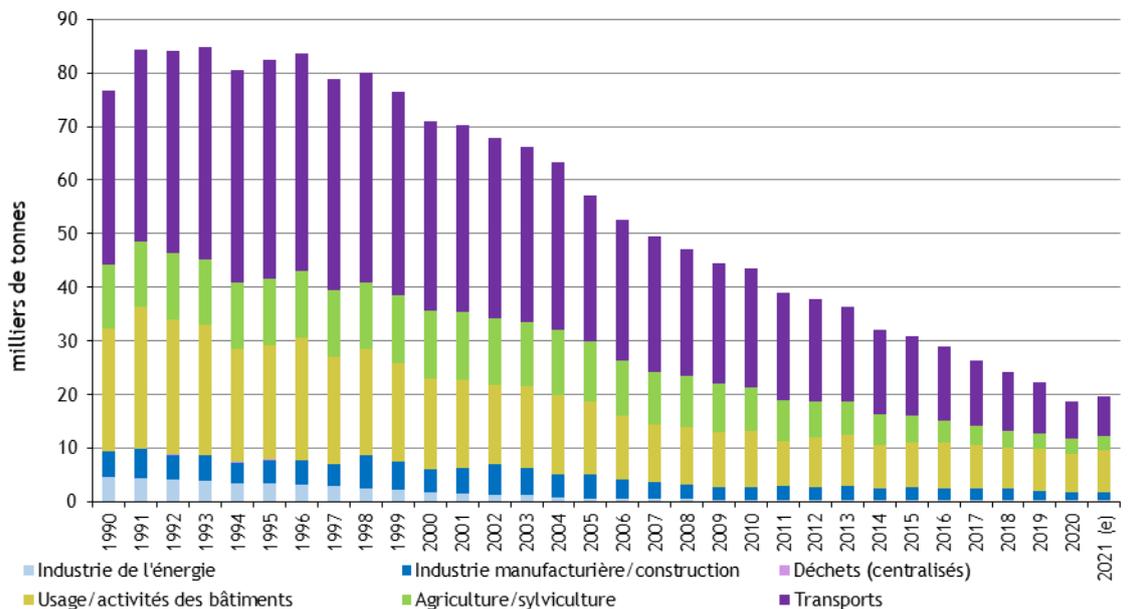
Santé (troubles des systèmes respiratoire et cardio-vasculaire. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérogènes)

Emissions par habitant en 2019 (kg/hab)



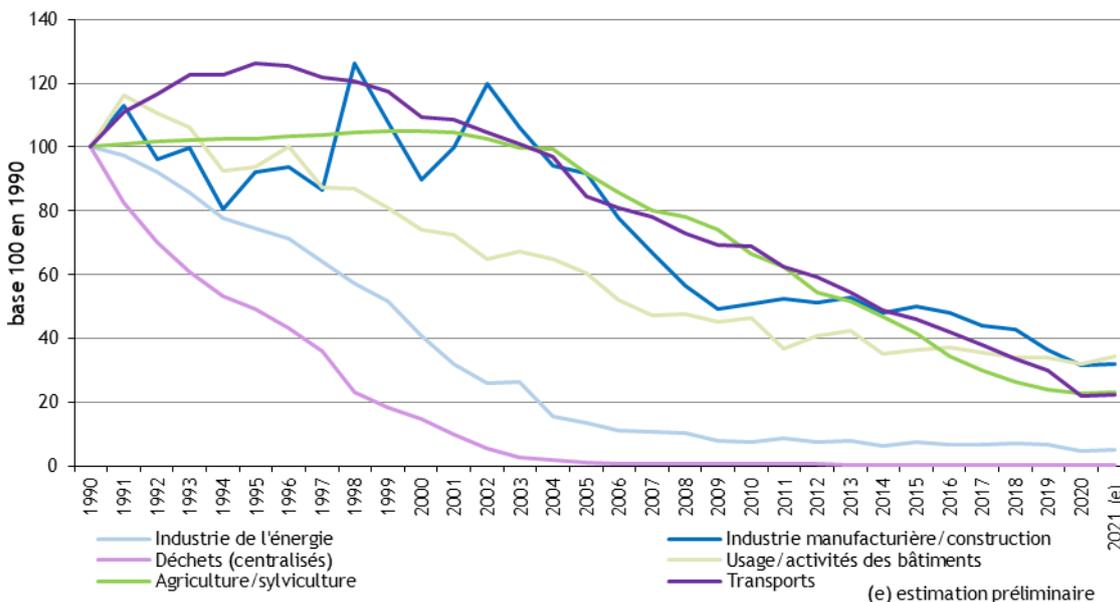
Carbone suie

Evolution des émissions dans l'air de BC depuis 1990 en France (Métropole)



(e) pré-estimation

Evolution des émissions dans l'air de BC en base 100 en 1990 en France (Métropole)



(e) estimation préliminaire

Emissions de BC (kt/an) Périmètre : Métropole						2021 (e)	% du total national (hors UTCATF) en 2020	% du total national (hors UTCATF) en 2021	1990-2020		2019-2020		2020-2021 (provisoire)	
	1990	2000	2010	2019	2020				-	-	-	-	-	-
Industrie de l'énergie	4,5	1,8	0,3	0,3	0,2	0,2	1%	1%	-4,3	-95%	-0,1	-29%	+0,0	+4%
Industrie manufacturière et construction	4,8	4,3	2,4	1,7	1,5	1,5	8%	8%	-3,3	-68%	-0,2	-12%	+0,0	+1%
Traitement centralisé des déchets	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	-0,1	-100%	0,0	-3%	+0,0	+1%
Usage des bâtiments et activités résidentiels/tertiaires	22,8	16,9	10,6	7,7	7,2	7,8	39%	40%	-15,5	-68%	-0,5	-6%	+0,6	+8%
Agriculture / sylviculture	12,1	12,7	8,0	2,9	2,7	2,8	15%	14%	-9,3	-77%	-0,2	-5%	+0,0	+2%
Transports	32,3	35,3	22,2	9,7	7,1	7,2	38%	37%	-25,2	-78%	-2,6	-27%	+0,1	+2%
Transport hors total	1,9	2,1	1,9	1,4	0,7	0,7								
TOTAL national	76,6	71,0	43,6	22,3	18,8	19,6	100%	100%	-57,8	-75%	-3,5	-16%	+0,8	+4%

Carbone suie

Analyse

Enjeux

Effets sanitaires

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 suite à 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) de par 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 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 46,7 % en 2020.

A noter

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.

Tendance générale

Le niveau des émissions de carbone suie en 2020, en France métropolitaine, est le plus faible observé depuis 1990. Les émissions de ce polluant sont induites par tous les secteurs, mais principalement par les suivants : le **transport routier**, dû en grande majorité à la combustion du gasoil ; le **résidentiel/tertiaire**, dont la principale source est la combustion de bois ; l'**agriculture**, 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 (9% des émissions totales de BC à eux tous en 2020). 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 peu évolué depuis 1990, en dehors de la part du secteur de la transformation d'énergie qui a nettement diminué dû notamment à la fermeture des mines. Les secteurs du transport et du résidentiel-tertiaire représentent toujours la grande majorité des émissions de carbone suie, avec 38% de contribution aux émissions totales pour chacun de ces secteurs. Les transports maritime et aérien internationaux sont des émetteurs significatifs de carbone suie, bien que leurs contributions ne soient pas comptabilisées dans les totaux nationaux. A noter que le transport maritime devrait réduire significativement sa contribution à partir de 2020 suite à la règle fixée par l'OMI sur la teneur en soufre des carburants à 0,5%, qui impose aux bateaux l'usage de carburants plus propres et/ou de laveurs, réduisant conjointement les particules.

Néanmoins, les émissions totales de carbone suie suivent la tendance historique de diminution et ont été réduites d'un facteur 4 depuis 1990, grâce notamment aux efforts conjoints 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.

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 même 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, le climat très doux a entraîné une baisse nette de la consommation énergétique du résidentiel/tertiaire, contrairement à 2012, 2013 et 2016, plus froides, qui montrent un regain des émissions. Les années 2018 et 2019 ont présenté un climat relativement favorable 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 (-16% comparativement à 2019), notamment dû à la réduction d'émissions de 27% du secteur du transport (et particulièrement le transport routier), qui représentait plus de 43% du total national en 2019. Le secteur résidentiel-tertiaire a également contribué à cette baisse observée avec -6% 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.

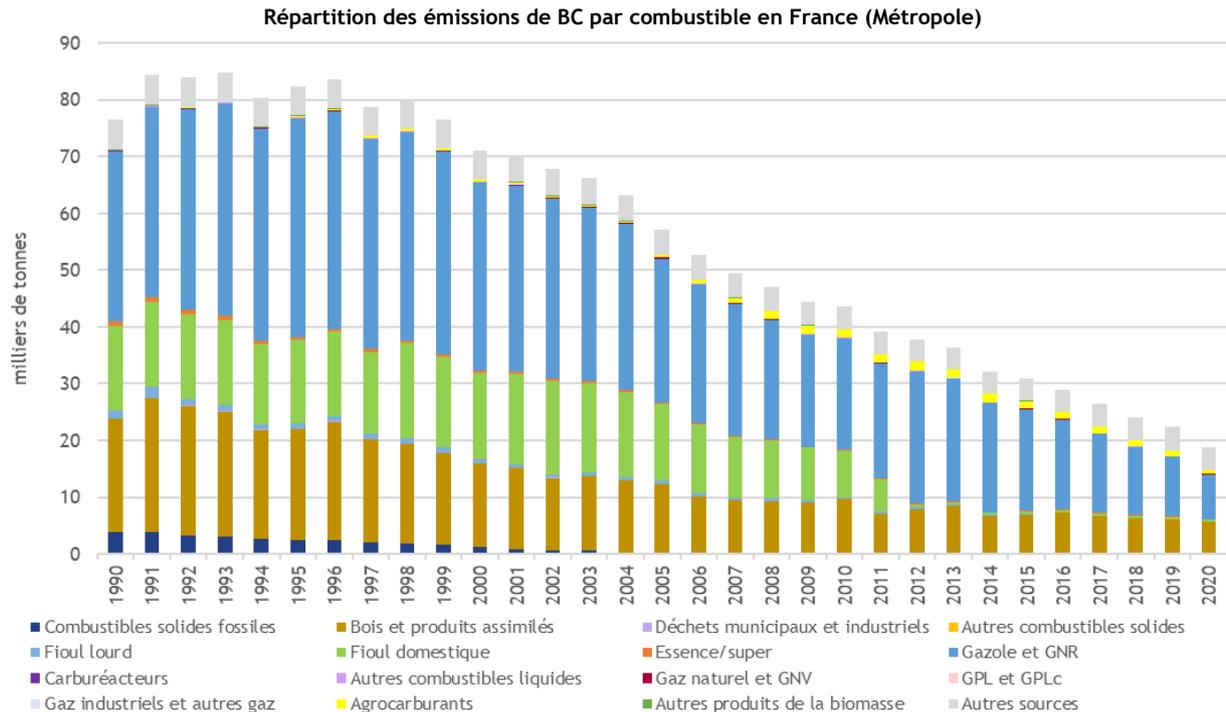
Les émissions pré-estimées de l'année 2021 prévoient un rebond des émissions avec une augmentation de 4,3% comparativement à 2020, principalement dû à la reprise de l'activité des transports et également suite à un hiver plus rigoureux donc une augmentation de consommation de combustibles.

Cependant, en faisant abstraction du contexte spécifique de l'année 2020, une continuité dans les réductions globales des émissions de carbone suie est attendue dans les prochaines années. Pour y parvenir, il faudra compter sur les différentes mesures existantes visant les particules totales en suspension comme, par exemple, 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 liée aux combustibles

La combustion de combustibles contribue de façon majeure aux émissions nationales, bien que leur part diminue progressivement au cours de la période (93% en 1990 contre 79% en 2020). Ceci est lié notamment aux progrès disparates réalisés entre les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 79% et 26% 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 gazole/GNR est le principal contributeur aux émissions de BC, représentant environ 42% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 53% en 2020. Néanmoins, les émissions du gazole ont fortement diminué et participé à la tendance générale observée avec une réduction de ses émissions de plus de 74%. Etant donné que le transport routier a fortement diminué en 2020 dû à la crise sanitaire de la Covid-19, cette réduction est exceptionnellement forte mais elle est tout de même de 65% entre 2019 et 1990. La part croissante des émissions du gazole 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. L'autre principal combustible émetteur de BC est le bois qui contribue entre 20% et 37% aux émissions de BC sur la période étudiée. Le bois a également permis cette réduction globale des émissions avec une baisse de ses émissions de 72%, 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.



Références du chapitre

ANSES 2018 - ANSES - Juin 2018 - Polluants émergents dans l'air ambiant. Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance.

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/rapport/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 2016 - Organisation mondiale de la santé - 2016 - page du site web qualité de l'air et santé. Mise à jour du 2 mai 2018. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

AEE 2013 - Agence de l'environnement européenne - Status of black carbon monitoring in Europe in 2013. 2013 report. ISBN 978-92-9213-415-0

AEE 2018 - Agence de l'environnement européenne - Air quality in Europe - 2018 report. N° 12. ISBN 978-92-9213-989-6

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/system/files/rapport/LCSQA_Note_technique_PUF_09avril2019.pdf

IPCC- AR5-2014 - Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, 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

