



Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques

Bilan des émissions en France de 1990 à 2017

EXTRAIT

RAPPORT NATIONAL D'INVENTAIRE / FORMAT SECTEN

Édition juillet 2019

Extrait du rapport Secten édition 2019.

Pour télécharger d'autres chapitres ou le rapport complet :
<https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/secten>

Pour citer ce document :

Citepa, juillet 2019. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France - Format Secten.

© Citepa 2019

Les données présentées dans ce rapport sont préparées dans le cadre des travaux d'inventaires nationaux, financés par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES) - Direction Générale de l'Energie et du Climat. La rédaction de ce rapport est entièrement financée par le Citepa.

Ce rapport est disponible en accès libre.

Cette édition annule et remplace toutes les éditions antérieures relatives au même format d'inventaire.

Bien que la date de mise à jour apparaissant dans les tableaux et figures, soit le mois d'avril 2019, l'ensemble des résultats jusqu'à l'année 2017 incluse correspond à ceux de la mise à jour de 2019 relative aux inventaires d'émission déclinés dans les formats "CCNUCC" et "CEE-NU/NEC". La mise à jour de juillet 2019 du rapport Secten intègre de plus l'estimation préliminaire pour 2018 et la révision des diverses analyses contenues dans le présent rapport.

Rapport n° 1632sec / 2019 | Secten_juillet2019.docx

ÉMISSIONS PAR SUBSTANCE

Émissions par substance : guide de lecture

Les familles de substance

Le rapport Secten regroupe les polluants atmosphériques en 5 grandes familles :

- Acidification, eutrophisation et pollution photochimique (ou « AEPP »)
- Gaz à effet de serre (ou « GES »),
- Métaux lourds,
- Polluants organiques persistantes (ou « POP »),
- Et Particules (ou « PM » ou « poussières »).

Les données d'émission sont exprimées en quantités massiques des différentes substances. Généralement, le symbole de la substance est utilisé au lieu de son nom entier (ex : « SF₆ » au lieu de « hexafluorure de soufre »).

Acidification, eutrophisation et pollution photochimique (ou « AEPP »)

Cette catégorie regroupe les substances suivantes :

- les oxydes de soufre (NOX),
- l'ammoniac (NH₃),
- le monoxyde de carbone (CO),
- les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM).

Il s'agit des substances polluantes les plus réglementées au niveau international, et qui font l'objet d'un suivi important.

Gaz à effet de serre (ou « GES »)

Cette catégorie regroupe les substances responsables de l'effet de serre, c'est-à-dire du forçage radiatif qui entraîne une augmentation des températures moyennes de l'atmosphère en renvoyant les rayonnements solaires vers la surface. Les gaz à effet de serre sont inventoriés dans le cadre de la Convention Cadre des Nations-Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC). Ils sont au nombre de sept :

- le dioxyde de carbone (CO₂),
- le méthane (CH₄),
- le protoxyde d'azote (N₂O),

ainsi que des gaz fluorés regroupant :

- les hydrofluorocarbures (HFC),
- les perfluorocarbures (PFC),
- l'hexafluorure de soufre (SF₆),
- le trifluorure d'azote (NF₃).

Métaux lourds

Cette catégorie - dont le terme est d'usage pratique plutôt que véritablement scientifique (lire la définition de cette famille dans le chapitre dédié), regroupe 9 substances différentes, classées par ordre alphabétique :

- l'arsenic (As),
- le cadmium (Cd),
- le chrome (Cr),
- le cuivre (Cu),
- le mercure (Hg),
- le nickel (Ni),
- le plomb (Pb),
- le sélénium (Se),
- le zinc (Zn).

Polluants organiques persistantes (ou « POP »)

Le terme Polluants Organiques Persistants ou POP désigne plusieurs substances organiques, molécules complexes non pas définies par leur nature chimique mais par quatre propriétés : elles sont persistantes, bioaccumulables, toxiques et mobiles.

Dans cette catégorie quatre familles sont actuellement prises en compte dans l'inventaire :

- les polychlorobiphényles (PCB),
- l'hexachlorobenzène (HCB),
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP),
- les dioxines/furanes (PCDD-F).

Particules (ou « PM » ou « poussières »)

Cette catégorie regroupe les particules en suspension dans l'air, classées par taille (particules fines à ultrafines), PM signifiant *Particulate Matter* en anglais, et le chiffre signifiant le diamètre. PM 10 : particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm. PM 2,5 dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm, etc. Les TSP (particules en suspension totales) englobent les PM10 qui englobent les PM2,5, qui englobent les PM1. Le carbone suie, ou Black Carbon (BC) s'ajoute à cette liste : il fait partie des PM 2,5 il est émis lors des phénomènes de combustion incomplètes de combustibles fossiles ou de la biomasse.

Le rapport présente ces substances rassemblées selon leur type et leurs effets dans deux familles (*polluant* ou *gaz à effet de serre*) et dans **chapitres par famille** de substance. Chaque chapitre débute par une définition de cette famille

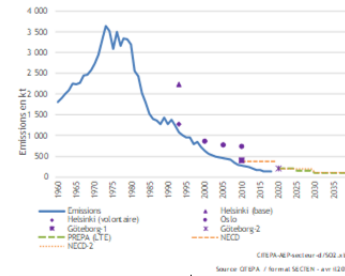
Guide de lecture des pages par substance

Pour chacune des cinq familles de substances, le rapport présente une description de cette famille puis, pour chaque polluant composant cette famille :

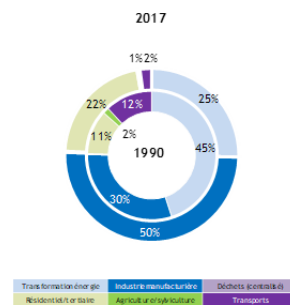
- un aperçu « en bref » de la substance donnant, sur une première page :
 - ses principales caractéristiques et impacts (colonne verte) ;
 - une comparaison de l'évolution des émissions du polluant et, quand ils existent pour le même périmètre, les objectifs réglementaires rattachés ;
 - une répartition sectorielle des émissions de la substance : pour l'année 1990 et pour l'année d'inventaire.

Les émissions de dioxyde de soufre en bref

Evolution des émissions de SO₂ en France métropolitaine et objectifs



Répartition des émissions de SO₂ en France métropolitaine



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 sulfurés 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, sulfatères.

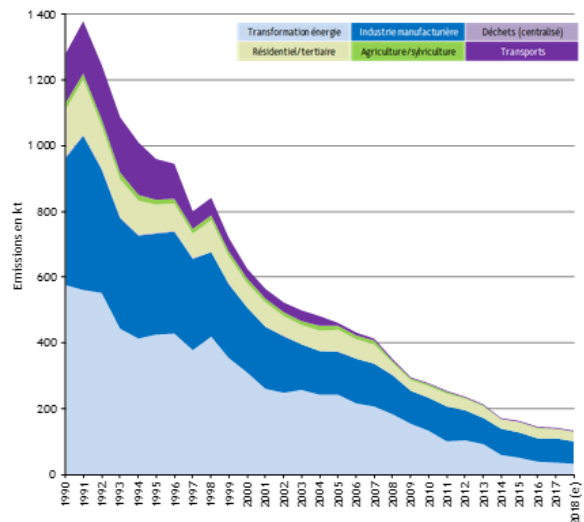
Phénomènes associés
Le SO₂ participe à l'acidification de l'air, peut former un brouillard et des aérosols d'acide sulfurique et de sulfates. Il est un précurseur de particules secondaires. Il est un gaz à effet de serre indirect avec un effet refroidissant par sa composante sulfate.

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

Emissions par habitant

- Puis, sur une deuxième page, l'évolution sectorielle des émissions du polluant de 1990 à l'année d'inventaire en graphe et tableau de données.

Evolution des émissions dans l'air de SO₂ en France métropolitaine depuis 1990



SO ₂		EMISSIONS DANS L'AIR EN FRANCE METROPOLITAINE						
Sources CITEPA / Format SECTEN - avril 2019		CITEPA-ASP-Indice-#SO24kw						
Gg = kt	Transformation énergie	Industrie manufacturière (1)	Traitement centralisé des déchets	Résidentiel / tertiaire	Agriculture / sylviculture	Transports (2)	TOTAL	Hors total (*)
1990	577	387	1,4	141	19,4	102,9	1 289	148
1991	561	469	1,4	168	19,4	108,1	1 379	148
1995	425	307	2,8	87	15,1	123,8	960	120
2000	311	196	1,0	75	14,1	28,9	626	152
2001	262	187	0,7	73	13,4	29,7	565	130
2002	248	173	0,6	60	13,0	30,1	524	122
2003	256	139	0,5	61	12,0	30,5	499	144
2004	243	132	0,4	64	12,8	29,8	481	167
2005	242	132	0,5	65	12,4	8,8	460	153
2006	215	137	0,3	58	12,2	7,8	431	137
2007	206	131	0,3	57	12,1	7,3	414	137

Ensuite, pour chaque polluant sont analysées l'évolution historique et la tendance actuelle.

Particules

Définitions 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 (les inventaires d'émission estiment les quantités de particules d'origine primaire). Elles peuvent être aussi issues de réactions chimiques complexes à partir de gaz précurseurs dans l'atmosphère (combinaison de NH_3 et 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 **particules ultra fines (PUF)**, particules dont le diamètre est inférieur à 0,1 µm.

Les particules entre 2,5 et 10 µm sont dénommées particules grossières. Les PM_{2,5} sont qualifiées de particules fines et incluent les particules ultrafines. Les PM₁₀ incluent 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 au champ 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 la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP), l'Union européenne, le national et le local.

Les sources anthropiques de particules primaires 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.

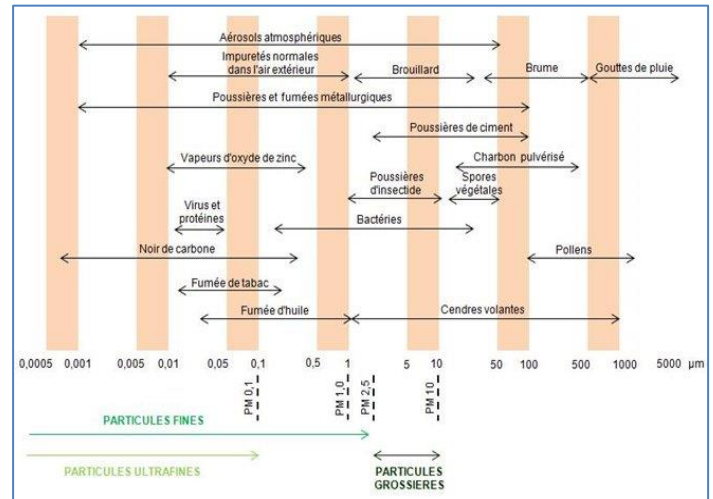


Figure 1 : Taille des particules – échelle et ordre de grandeur

La composition chimique des particules est très variée. Elles présentent, dans des proportions variées, 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. Il absorbe la lumière (d'où son impact dans l'effet de serre. Il est ainsi classé parmi les forceurs climatiques à courte durée de vie (SLCF en anglais)). Il est reconnu avoir des impacts cardiovasculaires. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérigènes (AEE 2013).

Si les concentrations de PM₁₀ 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 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), (programme CARA, surveillance en temps réel de la composition chimique des particules (CARA 2018)). La mesure des PUF reste très complexe et embryonnaire, avec 5 sites de mesure en temps réel en 2019 sur le territoire (LCSQA 2019). 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.

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 réduction des émissions de polluant de 2016), national (plan national de réduction des émissions de polluants atmosphérique (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 CEE-NU, a demandé de prioriser les actions de réduction des émissions de particules sur les sources d'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... Le caractère cancérigène 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 due à l'exposition aux $PM_{2,5}$. Dans l'Union européenne, le nombre de décès prématurés en 2015, dus à l'exposition aux $PM_{2,5}$, au NO_2 et à l'ozone est estimé respectivement à 391 000, 76 000 et 16 400 selon l'Agence de l'environnement européenne (AEE, 2018). Le risque lié aux $PM_{2,5}$ est le plus important comme ces chiffres le démontrent. Pour la France, ces morts prématurées sont respectivement de 35 800, 9 700 et 1 800 en 2015. 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 2015.

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 d'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 ont 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).

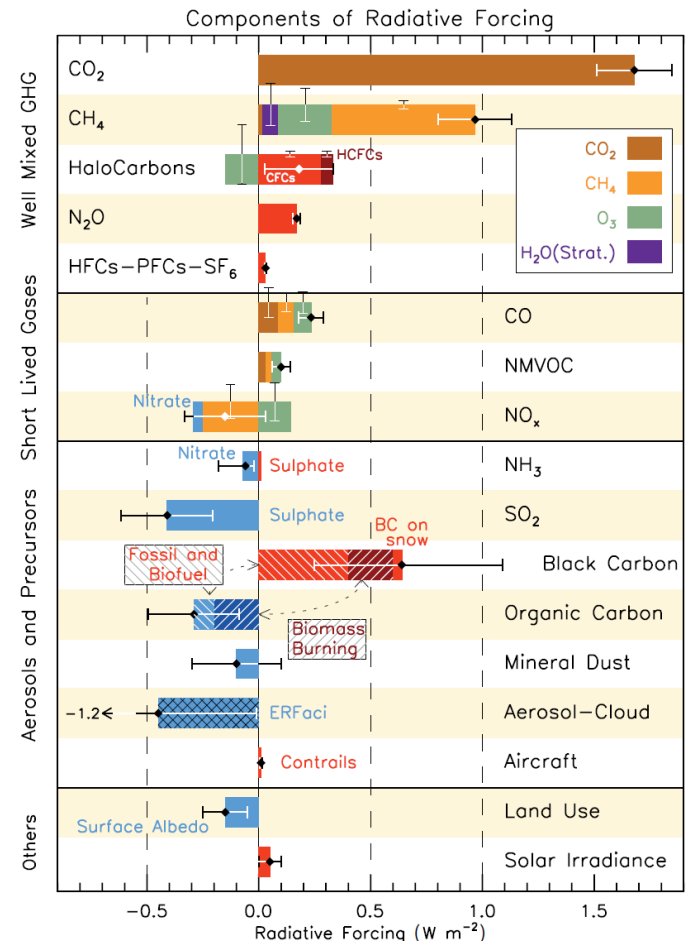


Figure 2 : Forçage radiatif des composés (IPCC- AR5-2014)

Références utilisées

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

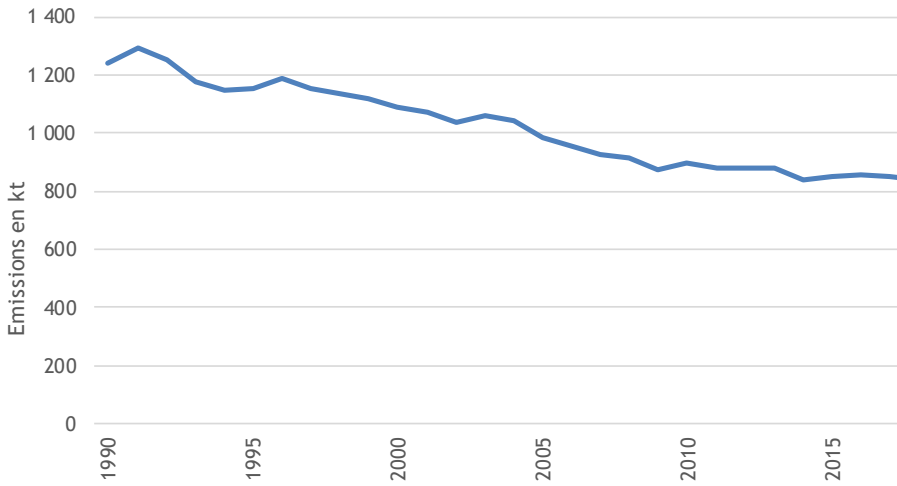
LCSQA 2019 - Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) - 2019 - Mesure des particules ultrafines au sein du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air - Note technique.

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. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

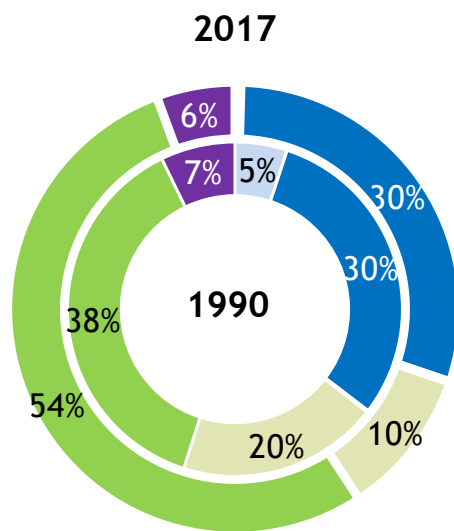
Les émissions de TSP en bref

Evolution des émissions de TSP en France métropolitaine



CITEPA-PM-secteur -d/TSP.xlsx
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

Répartition des émissions de TSP en France métropolitaine



Transformation énergie	Industrie manufacturière	Déchets (centralisé)
Résidentiel/tertiaire	Agriculture/sylviculture	Transports

CITEPA-PM-secteur -d/TSP.xlsx
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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).

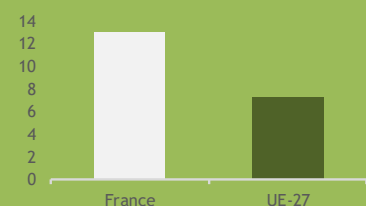
Phénomènes associés
Particules primaires issues de rejets directs dans l'air.

Particules secondaires issues de réactions chimiques entre gaz précurseurs (non prises en compte dans les inventaires).

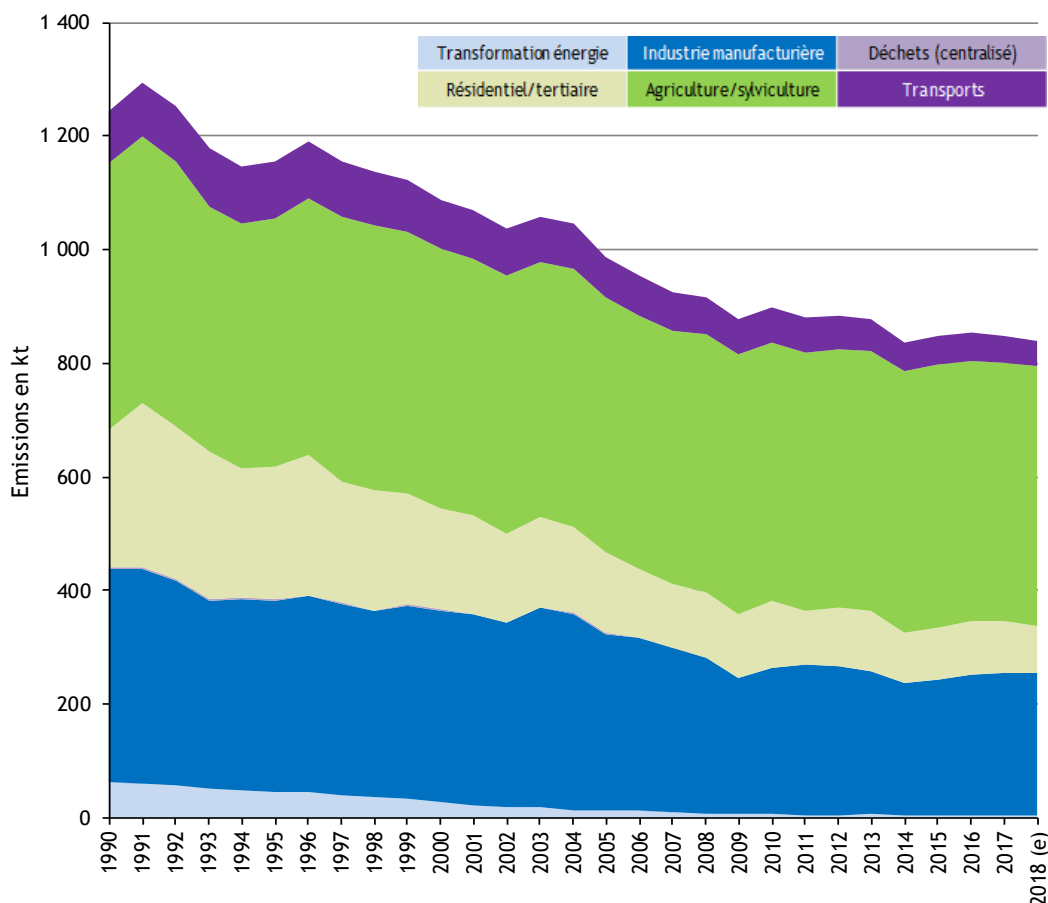
Effets
☀️ Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

⚠️ Santé

Emissions par habitant
(kg/hab/an) en 2017



Evolution des émissions dans l'air de TSP en France métropolitaine depuis 1990



Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/TSP.xlsx

TSP

EMISSIONS DANS L'AIR EN FRANCE METROPOLITAINE

Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/TSP.xls

Gg = kt	Transformation énergie	Industrie manufacturière (1)	Traitement centralisé des déchets	Résidentiel / tertiaire	Agriculture/sylviculture	Transports (2)	TOTAL	Hors total (*)
1990	62,8	377	2,2	241	470	89	1 243	32
1991	60,9	378	2,1	290	469	95	1 295	19
1995	45,3	338	1,9	232	438	100	1 154	20
2000	27,2	338	0,9	178	457	85	1 087	24
2001	21,7	335	0,7	174	454	84	1 069	20
2002	18,4	325	0,5	156	455	82	1 036	29
2003	18,9	350	0,4	159	450	80	1 059	31
2004	13,7	346	0,4	153	454	78	1 045	23
2005	13,6	311	0,3	142	449	71	986	24
2006	11,9	306	0,3	121	445	69	953	21
2007	10,9	287	0,3	113	445	67	924	22
2008	8,6	274	0,3	113	457	64	916	20
2009	7,9	240	0,3	110	457	62	877	22
2010	6,6	256	0,3	117	454	63	898	21
2011	5,0	264	0,3	96	454	60	880	22
2012	5,7	260	0,3	104	455	58	882	20
2013	5,9	251	0,2	108	458	55	878	17
2014	3,8	234	0,2	88	460	52	837	17
2015	4,1	239	0,3	91	464	51	849	17
2016	3,7	247	0,3	94	460	49	855	16
2017	3,6	253	0,3	90	455	48	849	18
2018 (e)	3,3	252	0,3	84	455	45	839	19

Analyse des émissions 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,
- le résidentiel, notamment du fait de la combustion de bois dans les équipements domestiques.

Pour les autres secteurs (hors transport), 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.

Evolution 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, certains secteurs comme le transport routier ou le résidentiel/tertiaire sont en constante diminution de leurs émissions de TSP. 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).

Dans 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 sur 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,

Les émissions du secteur résidentiel/tertiaire ont été très fortement réduites sur la période (de plus de moitié) 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 sont désormais très marginales. Les activités contributrices à ces émissions sont le chauffage urbain (stable sur la période) suivi par le raffinage du pétrole (en diminution depuis 1990 du fait de la réduction de l'activité), la production d'électricité (en diminution du fait de la fermeture des centrales à charbon). 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 l'implémentation de technologies de réduction.

- 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 la 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 dès 1 MW. Pour le bois résidentiel, l'installation d'appareils au bois plus performants est promue et soutenue aux niveaux européen (Directive Ecodesign), national et régional (aides et crédit d'impôt). Ce contexte devrait permettre de limiter la hausse des émissions de particules.

Notes de fin de section

(1) Y compris traitement in situ des déchets et des eaux usées

(2) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions relatives au transport maritime concernent les émissions dites "domestiques", c'est-à-dire rapportées dans le total national, à savoir le transport entre deux ports du territoire national. Les émissions relatives au transport aérien concernent les émissions sous total national, à savoir, les émissions des vols domestiques et internationaux relatives aux cycles LTO sur le territoire national (< 1000 m).

(*) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions répertoriées hors total national sont les suivantes : les émissions maritimes internationales, les émissions de la phase croisière (≥ 1000 m) des trafics aériens domestique et international, ainsi que les émissions des sources biotiques de l'agriculture et des forêts et les émissions des sources non-anthropiques.

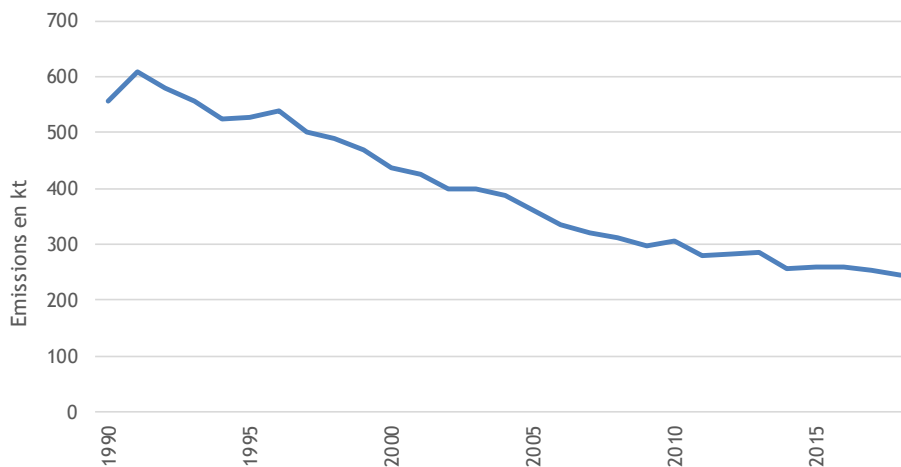
(e) estimation préliminaire

Résidentiel : Emissions liées aux activités domestiques, notamment dans les bâtiments d'habitation (combustion des appareils de chauffage, feux ouverts, engins mobiles non routiers pour le loisir/jardinage, utilisation domestique de solvants, réfrigération et air conditionné, consommation de tabac, traitement des eaux usées, etc.)

Tertiaire : Emissions liées aux activités et bâtiments des entreprises, commerces, institutions et services publics (combustion des appareils de chauffage, utilisation de solvants, réfrigération et air conditionné, bombes aérosols, utilisation de feux d'artifices, etc.)

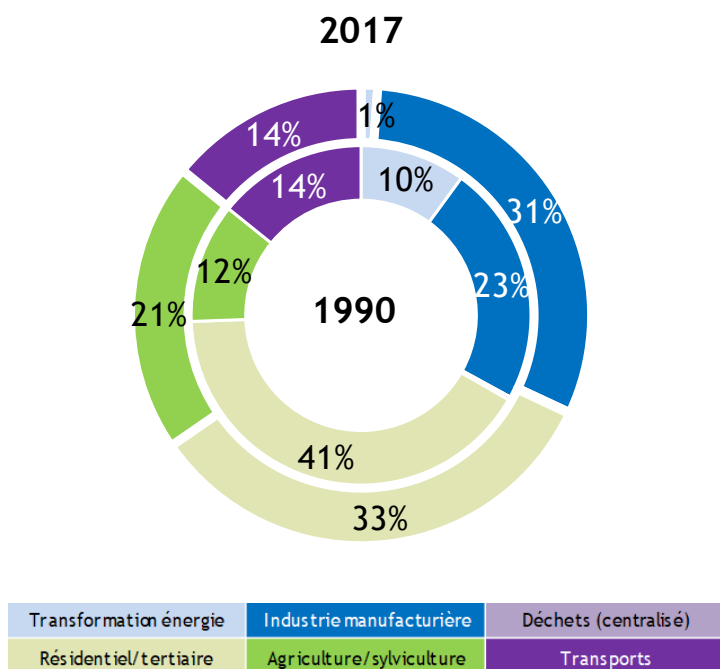
Les émissions de PM₁₀ en bref

Evolution des émissions de PM₁₀ en France métropolitaine



CITEPA-PM-secteur-d/PM10.xlsx
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

Répartition des émissions de PM₁₀ en France métropolitaine



CITEPA-PM-secteur-d/PM10.xlsx
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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.

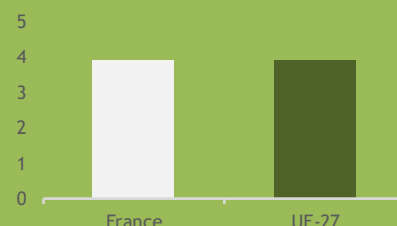
Origine
Phénomènes naturels (érosion éolienne, embruns marins par exemple) ou anthropiques (combustion, industrie, chantiers, transport et agriculture).

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.

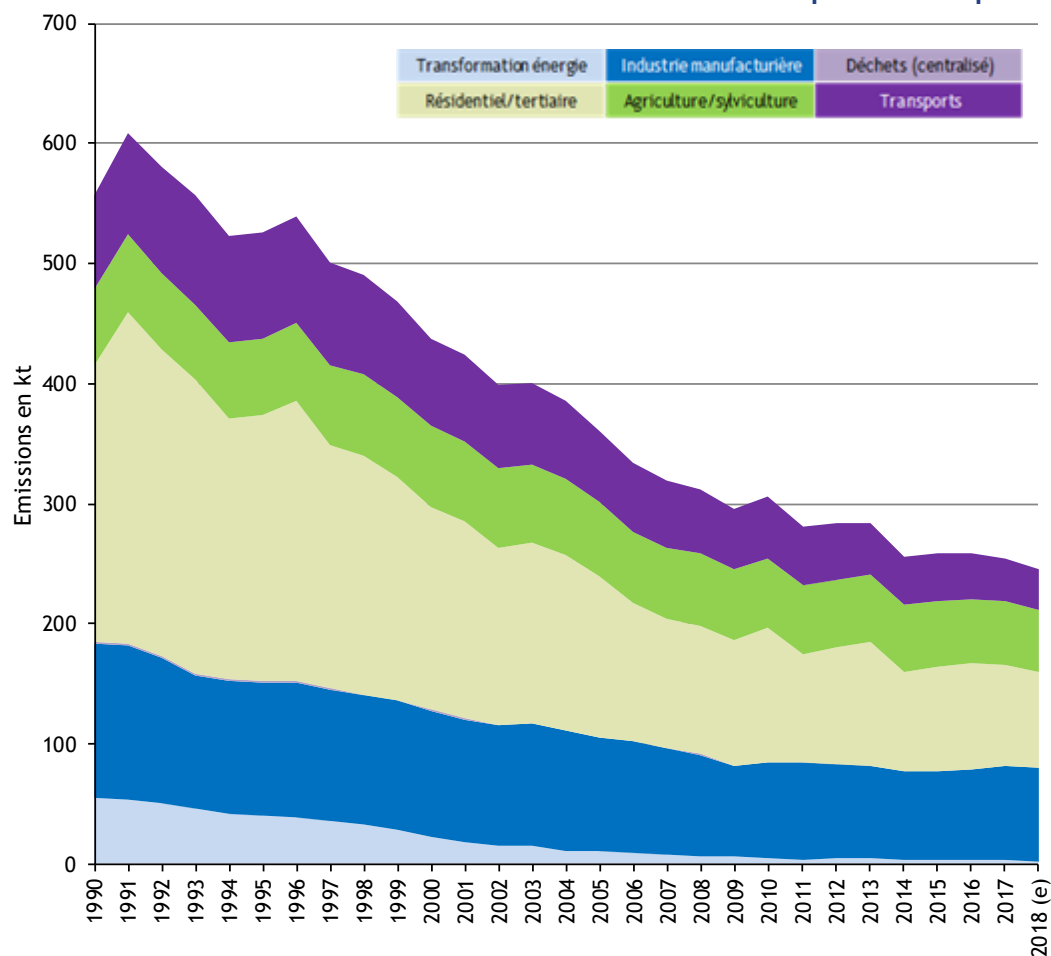
Effets
 Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

 Santé

Emissions par habitant
(kg/hab/an) en 2017



Evolution des émissions dans l'air de PM₁₀ en France métropolitaine depuis 1990



Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/PM10.xlsx

PM₁₀

EMISSIONS DANS L'AIR EN FRANCE METROPOLITAINE

Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/PM10.xls

Gg = kt	Transformation énergie	Industrie manufacturière (1)	Traitement centralisé des déchets	Résidentiel / tertiaire	Agriculture/sylviculture	Transports (2)	TOTAL	Hors total (*)
1990	55,9	128	1,8	229	63	79	557	26
1991	54,3	128	1,7	276	64	85	609	17
1995	40,2	111	1,5	220	64	89	526	17
2000	23,4	105	0,7	169	67	74	438	21
2001	18,2	102	0,5	165	66	72	424	18
2002	15,3	100	0,4	148	66	70	400	24
2003	15,8	102	0,3	151	64	68	400	26
2004	10,7	101	0,2	145	64	66	386	21
2005	10,6	94	0,2	135	62	59	361	21
2006	9,2	93	0,2	115	60	57	334	20
2007	8,4	89	0,2	107	59	56	319	21
2008	6,6	85	0,2	107	60	53	311	18
2009	6,1	75	0,2	104	59	51	296	20
2010	5,2	80	0,2	111	58	52	306	19
2011	3,9	80	0,2	91	57	48	281	20
2012	4,4	78	0,2	98	56	46	284	19
2013	4,7	77	0,2	103	56	44	284	16
2014	3,0	74	0,2	83	56	41	256	15
2015	3,3	74	0,2	86	55	39	258	15
2016	3,0	76	0,2	89	53	38	258	14
2017	3,0	78	0,2	85	52	36	254	15
2018 (e)	2,7	78	0,2	79	52	33	245	17

Analyse des émissions de PM₁₀

Tendance générale

Le niveau actuel des émissions de particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM₁₀) est le plus bas observé depuis 1990. En France métropolitaine, tous les secteurs sont émetteurs de PM₁₀, 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,
- 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. A noter que les émissions du secteur de la transformation de l'énergie étaient plus importantes en 1990 du fait de l'extraction minière. Les émissions de PM₁₀ du

Evolution récente

Lors des dernières années, les émissions globales de PM₁₀ ont tendance à baisser, même si le taux de diminution est plus lent depuis 2014.

En particulier, certains secteurs comme l'industrie manufacturière sont plutôt stagnants depuis quelques années, notamment à cause de sous-secteurs comme la construction, l'agro-alimentaire et le papier/carton qui voient leurs émissions être en légère augmentation depuis 2014. Bien qu'il ne représente plus un secteur majeur des émissions de PM₁₀, le secteur de la transformation d'énergie est également en stagnation du fait de l'augmentation des émissions du chauffage urbain depuis 2012 (augmentation des installations fonctionnant à la biomasse).

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 engins mobiles non routiers de l'agriculture/sylviculture (mais aussi dans l'industrie) et des véhicules du transport routier.

Pour le secteur du résidentiel/tertiaire, les émissions de PM₁₀ 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

Notes de fin de section

(1) Y compris traitement in situ des déchets et des eaux usées

(2) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions relatives au transport maritime concernent les émissions dites "domestiques", c'est-à-dire rapportées dans le total national, à savoir le transport entre deux ports du territoire national. Les émissions relatives au transport aérien concernent les émissions sous total national, à savoir, les émissions des vols domestiques et internationaux relatives aux cycles LTO sur le territoire national (< 1000 m).

(*) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions répertoriées hors total national sont les suivantes : les émissions maritimes internationales, les émissions de la phase croisière (≥ 1000 m) des trafics aériens domestique et international, ainsi que les

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.

La baisse globale des émissions observée depuis 1990 est 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 sidérurgie 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 contribue également à la diminution des émissions.

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 d'un climat un peu moins favorable.

Les PM₁₀ attirent de plus en plus d'intérêt ces dernières années, notamment à cause des risques sanitaires causés par ces 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 recoupent avec celles mentionnées pour les particules totales en suspension (arrêtés sur les installations de combustion, les normes Euro, etc.). De plus, l'optimisation des rendements de procédés de combustion associée à des technologies de réductions comme les 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 modifier l'évolution des émissions de PM₁₀.

émissions des sources biotiques de l'agriculture et des forêts et les émissions des sources non-anthropiques.

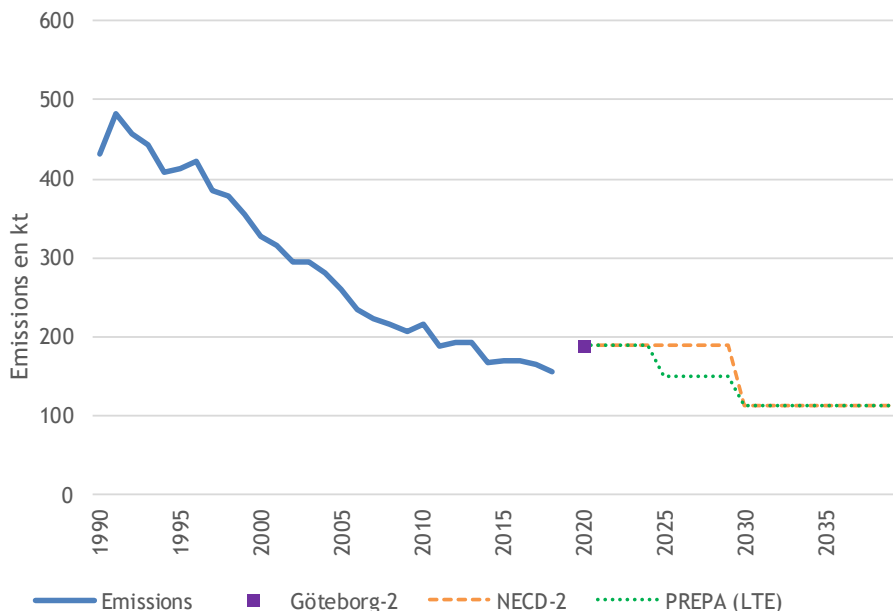
(e) estimation préliminaire

Résidentiel : Emissions liées aux activités domestiques, notamment dans les bâtiments d'habitation (combustion des appareils de chauffage, feux ouverts, engins mobiles non routiers pour le loisir/jardinage, utilisation domestique de solvants, réfrigération et air conditionné, consommation de tabac, traitement des eaux usées, etc.)

Tertiaire : Emissions liées aux activités et bâtiments des entreprises, commerces, institutions et services publics (combustion des appareils de chauffage, utilisation de solvants, réfrigération et air conditionné, bombes aérosols, utilisation de feux d'artifices, etc.)

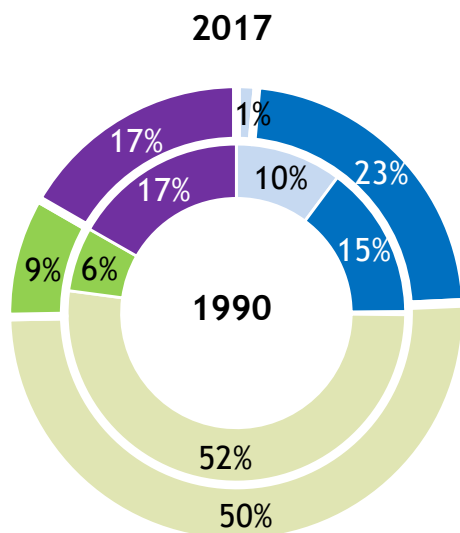
Les émissions de PM_{2,5} en bref

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



CITEPA-PM-secteur-d/PM2_5.xlsx
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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



Transformation énergie	Industrie manufacturière	Déchets (centralisé)
Résidentiel/tertiaire	Agriculture/sylviculture	Transports

CITEPA-PM-secteur-d/PM2_5.xlsx
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

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.

Source naturelle : 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



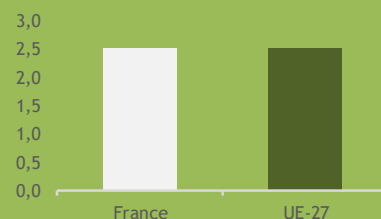
Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie



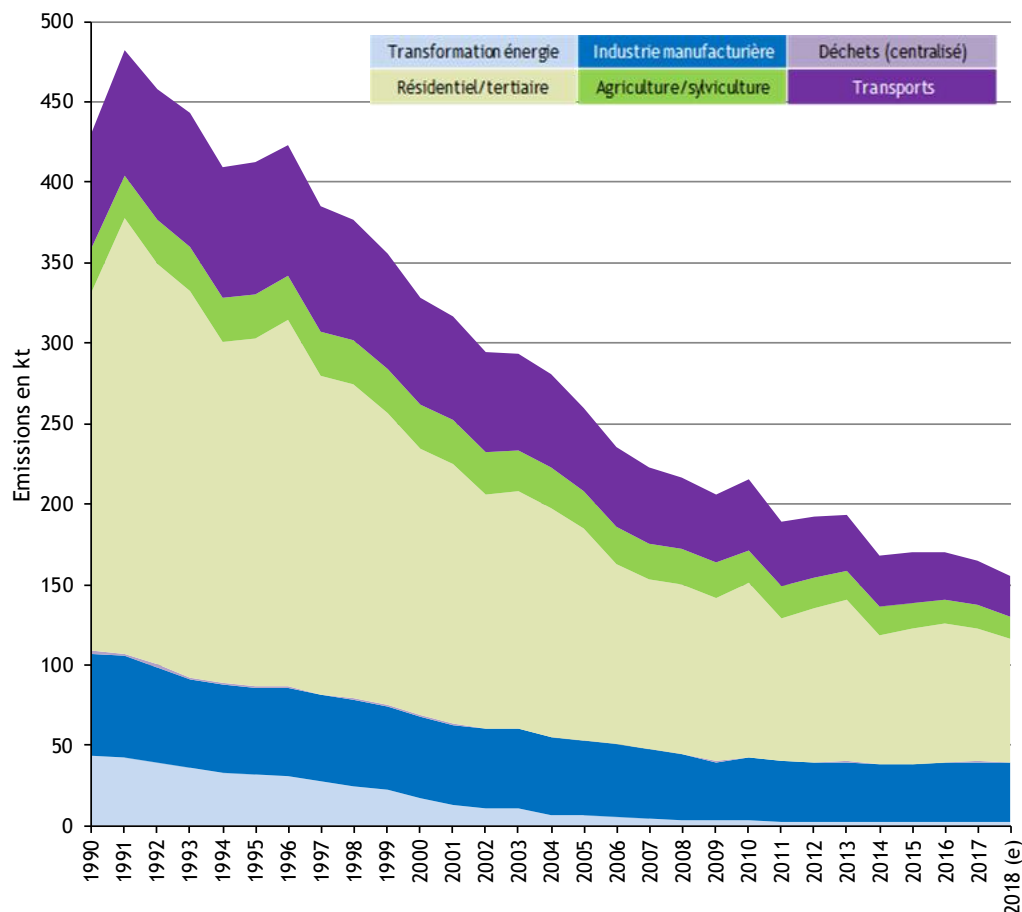
Santé

Emissions par habitant

kg/hab/an en 2017



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



Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/PM2_5.xlsx

PM_{2,5}

EMISSIONS DANS L'AIR EN FRANCE METROPOLITAINE

Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/PM2_5.xls

Gg = kt	Transforma- tion énergie	Industrie manufacturière (1)	Traitement centralisé des déchets	Résidentiel / tertiaire	Agriculture/ sylviculture	Transports (2)	TOTAL	Hors total (*)
1990	43,9	63	1,2	224	27	72	432	23
1991	42,6	64	1,2	270	27	78	482	16
1995	31,5	55	1,1	216	27	82	412	16
2000	17,5	51	0,4	165	28	66	328	20
2001	13,6	49	0,3	161	27	64	316	17
2002	11,2	50	0,2	145	27	62	294	21
2003	11,3	49	0,1	148	26	60	294	23
2004	6,9	48	0,1	142	26	57	280	20
2005	6,5	46	0,1	132	24	51	260	19
2006	5,6	45	0,1	113	23	49	235	18
2007	5,0	43	0,1	105	22	47	222	19
2008	4,1	41	0,1	105	22	44	216	17
2009	3,7	36	0,1	102	21	43	206	18
2010	3,2	39	0,1	109	20	44	215	17
2011	2,6	38	0,1	89	19	40	189	18
2012	2,8	37	0,1	96	18	38	192	17
2013	3,0	37	0,1	100	18	36	194	15
2014	2,2	36	0,1	81	17	32	168	14
2015	2,5	36	0,1	84	16	31	170	14
2016	2,4	37	0,1	87	15	29	170	13
2017	2,4	38	0,1	83	14	27	164	14
2018 (e)	2,2	37	0,1	77	14	25	156	15

Analyse des émissions de PM_{2,5}

Tendance générale

Le niveau des émissions de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns (PM_{2,5}) observé est globalement en baisse depuis 1990. Ces émissions sont induites par tous les secteurs. Les principaux secteurs qui contribuent 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 le travail du bois puis les chantiers/BTP 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, le secteur résidentiel/tertiaire étant 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

Evolution récente

Lors des dernières années, les émissions globales de PM_{2,5} sont globalement en baisse, même si elles ont tendance à stagner depuis 2014, fluctuant notamment en fonction de la consommation domestique de bois et donc du climat.

En effet, pour le secteur du résidentiel/tertiaire, les émissions de PM_{2,5} sont globalement en baisse mais elles fluctuent légèrement depuis 2014. 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 et 2015, 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 et 2013, plus froides, montrent un regain des émissions de PM_{2,5} notamment dans le résidentiel/tertiaire, du fait d'une consommation énergétique plus importante.

D'autres secteurs comme l'industrie manufacturière sont plutôt stagnants depuis quelques années, notamment à cause de sous-secteurs comme la construction, la métallurgie des métaux ferreux et le papier/carton qui voient leurs émissions de PM_{2,5} en légère augmentation depuis 2014. 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).

entre 1990 et 2005 grâce à une mise en conformité des installations d'incinération des déchets.

Depuis 1990, les émissions ont été réduites de plus de moitié. 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.

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, 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 années 2011, 2014 et 2015, en plus des raisons expliquées précédemment, le climat très doux de ces années est également responsable de la baisse des consommations d'énergie dans les secteurs du résidentiel/tertiaire et de la transformation d'énergie.

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 de ces 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 donc 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, associée à des technologies de réductions comme les médias filtrants, laissent entendre que des réductions supplémentaires sont réalisables.

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.

Notes de fin de section

(1) Y compris traitement in situ des déchets et des eaux usées

(2) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions relatives au transport maritime concernent les émissions dites "domestiques », c'est-à-dire rapportées dans le total national, à savoir le transport entre deux ports du territoire national. Les émissions relatives au transport aérien concernent les émissions sous total national, à savoir, les émissions des vols domestiques et internationaux relatives aux cycles LTO sur le territoire national (< 1000 m).

(*) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions répertoriées hors total national sont les suivantes : les émissions maritimes internationales, les émissions de la phase croisière (≥ 1000 m) des trafics aériens domestique et international, ainsi que les émissions des sources biotiques de l'agriculture et des forêts et les émissions des sources non-anthropiques.

(e) estimation préliminaire

Résidentiel : Emissions liées aux activités domestiques, notamment dans les bâtiments d'habitation (combustion des

appareils de chauffage, feux ouverts, engins mobiles non routiers pour le loisir/jardinage, utilisation domestique de solvants, réfrigération et air conditionné, consommation de tabac, traitement des eaux usées, etc.)

Tertiaire : Emissions liées aux activités et bâtiments des entreprises, commerces, institutions et services publics (combustion des appareils de chauffage, utilisation de solvants, réfrigération et air conditionné, bombes aérosols, utilisation de feux d'artifices, etc.)

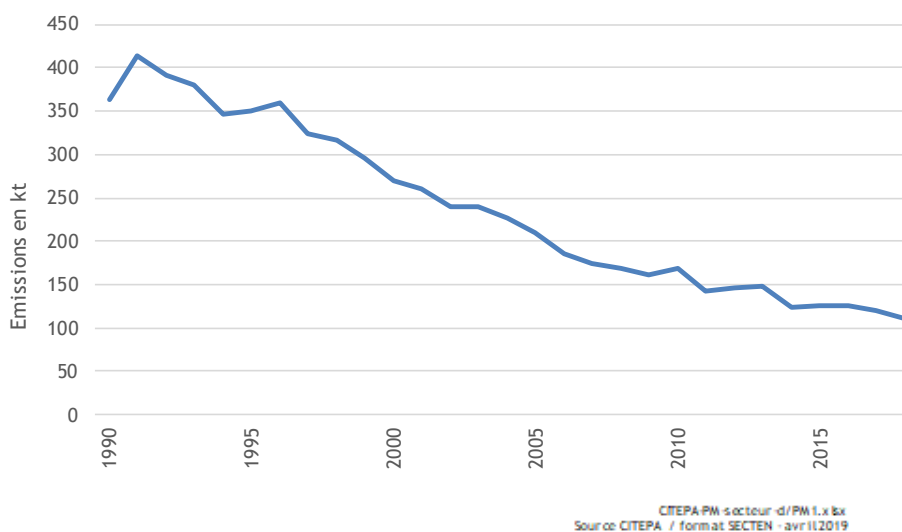
Göteborg-2 : amendement de 2012 au Protocole de Göteborg de 1999, multi-polluants, non ratifié par la France, non en vigueur

NECD-2 : Directive 2016/2284 réduction des émissions de certains polluants (National Emission ceilings Directive)

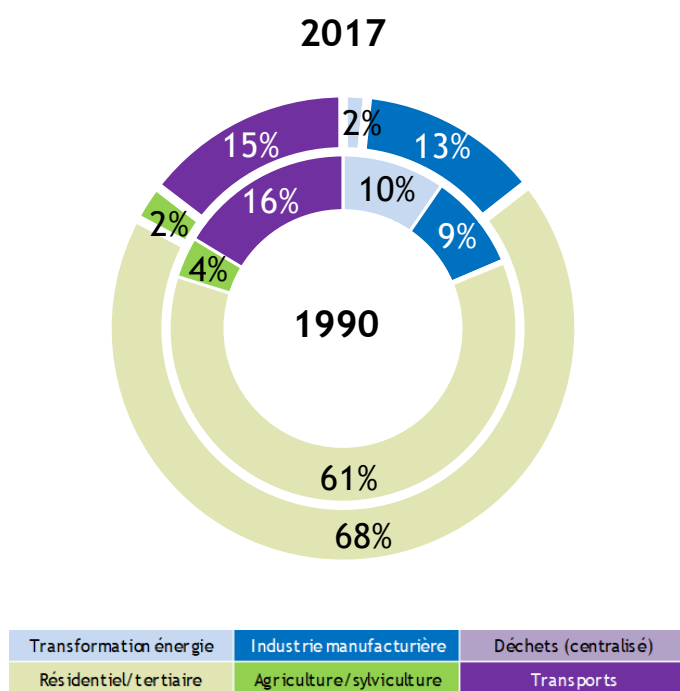
PREPA : Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques de 2017 (décret n°2017-949) prévu par la LTE (Loi 2015-992 relative à la transition énergétique pour la croissance verte).

Les émissions de PM_{1,0} en bref

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



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



PM_{1,0}

Particules fines et ultrafines

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

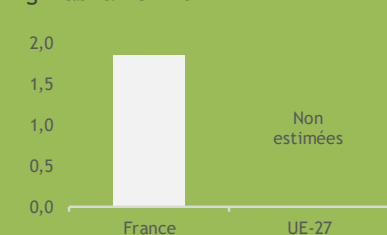


Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

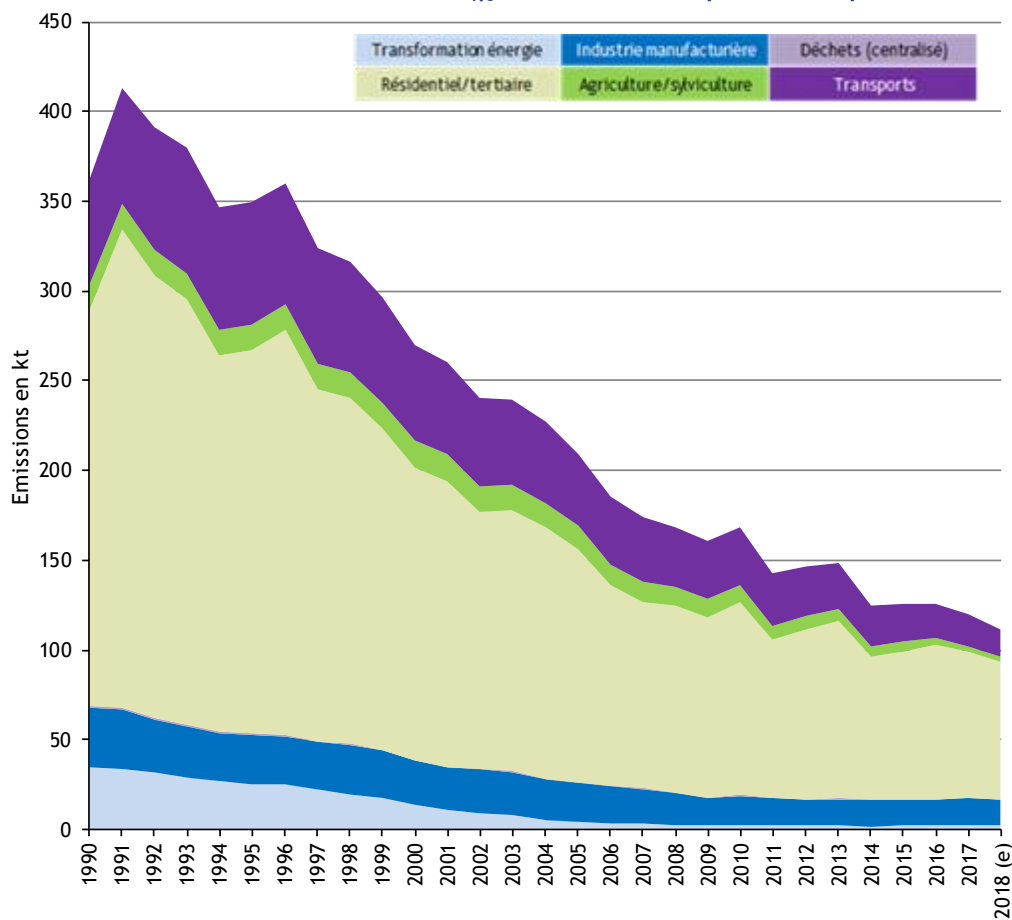


Santé

Emissions par habitant



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



PM_{1,0}

EMISSIONS DANS L'AIR EN FRANCE METROPOLITAINE

Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/PM 1x1s

Gg = kt	Transforma- tion énergie	Industrie manufacturière (1)	Traitement centralisé des	Résidentiel / tertiaire	Agriculture/ sylviculture	Transports (2)	TOTAL	Hors total (*)
1990	34,9	33	1,0	222	13,9	59	363	13
1991	33,7	33	1,0	267	14,0	65	413	13
1995	25,3	27	1,0	213	14,3	69	350	12
2000	13,7	24	0,4	163	14,6	53	270	15
2001	10,6	24	0,3	159	14,6	52	261	13
2002	8,6	25	0,2	143	14,2	49	240	13
2003	8,4	24	0,1	146	13,8	48	240	14
2004	4,8	23	0,1	140	14,0	45	227	16
2005	4,2	22	0,1	130	12,8	40	209	15
2006	3,6	21	0,1	111	11,9	38	185	16
2007	3,1	19	0,1	104	11,1	36	174	17
2008	2,7	18	0,1	104	10,8	34	169	15
2009	2,4	15	0,1	101	9,9	32	161	14
2010	2,1	17	0,1	108	9,1	33	169	14
2011	1,9	16	0,1	88	8,4	29	143	15
2012	1,9	15	0,1	95	7,2	28	146	14
2013	2,1	15	0,1	99	6,7	25	148	13
2014	1,7	14	0,1	80	5,9	22	124	11
2015	2,0	14	0,1	83	5,0	21	125	10
2016	2,0	15	0,1	86	4,1	19	126	10
2017	2,0	15	0,1	82	3,1	17	120	10
2018 (e)	1,9	15	0,1	76	3,1	15	111	12

Analyse des émissions de PM_{1,0}

Tendance générale

Le niveau actuel des émissions de particules de diamètre inférieur à 1 micron (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 est issue du résidentiel/tertiaire, 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, deuxième secteur émetteur, 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.

Pour les autres secteurs moins émetteurs comme les secteurs de la transformation de l'énergie, de l'agriculture/sylviculture et du traitement des déchets, les émissions proviennent en grande partie de la combustion de biomasse

Evolution 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.

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 et 2015, le climat très doux a entraîné une baisse nette de la consommation énergétique du résidentiel/tertiaire, contrairement à 2012 et 2013, plus froides, qui montrent un regain des émissions de PM_{1,0}.

D'autres secteurs comme l'industrie manufacturière et la transformation d'énergie sont plutôt stagnants depuis 2012, dû à l'intensification de l'activité de sous-secteurs comme la métallurgie des métaux ferreux, le papier/carton et le chauffage urbain.

En ce qui concerne le transport et l'agriculture/sylviculture, les émissions sont en baisse continue même dans les années plus récentes, notamment grâce aux mesures mises en place pour la combustion de carburants lors de l'échappement des vapeurs des engins mobiles routiers et non routiers, combinées aux réglementations appliquées aux compositions des carburants. A noter que, contrairement aux particules de

et de la combustion de carburants dans les engins mobiles non routiers.

Sur la période étudiée, les émissions ont baissé d'un facteur 3. Cette tendance à la baisse est observée sur l'ensemble des secteurs sauf pour les "autres transports" (niveau relativement stable). Toutefois, l'année 1991, particulièrement froide, constitue une année exceptionnelle du fait de son niveau d'émission élevé (maximum observé sur la période) consécutive, en particulier, à une forte consommation de bois dans le secteur résidentiel/tertiaire.

La baisse générale observée depuis 1990 est engendrée, d'une part, par l'amélioration des performances des techniques de dépoussiérage dans l'industrie manufacturière, 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).

plus grande taille, les émissions du secteur de l'agriculture/sylviculture résultent entièrement de la combustion de carburants dans les engins mobiles non routiers.

Les « particules ultrafines », au diamètre inférieur à 0,1µm sont une source croissante d'intérêt ces dernières années, à cause des risques sanitaires qui leurs sont associés.

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 (Euro) et non routiers (Stage) 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 réductions 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, qui varie selon le climat et qui est prévue de croître dans le mix énergétique des prochaines années.

Notes de fin de section

(1) Y compris traitement in situ des déchets et des eaux usées

(2) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions relatives au transport maritime concernent les émissions dites "domestiques », c'est-à-dire rapportées dans le total national, à savoir le transport entre deux ports du territoire national. Les émissions relatives au transport aérien concernent les émissions sous total national, à savoir, les émissions des vols domestiques et internationaux relatives aux cycles LTO sur le territoire national (< 1000 m).

(*) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions répertoriées hors total national sont les suivantes : les émissions maritimes internationales, les émissions de la phase croisière (≥ 1000 m) des trafics aériens domestique et international, ainsi que les émissions des sources biotiques de

l'agriculture et des forêts et les émissions des sources non-anthropiques.

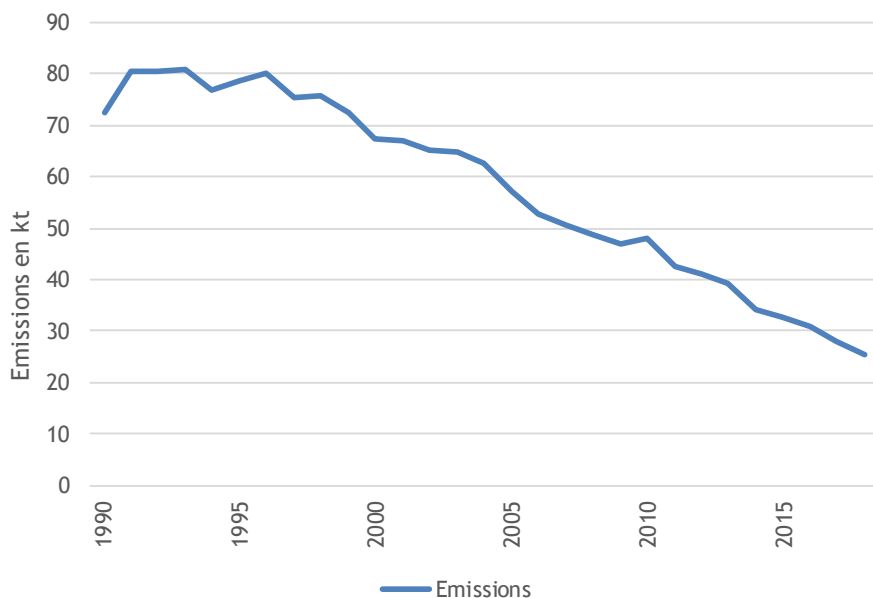
(e) estimation préliminaire

Résidentiel : Emissions liées aux activités domestiques, notamment dans les bâtiments d'habitation (combustion des appareils de chauffage, feux ouverts, engins mobiles non routiers pour le loisir/jardinage, utilisation domestique de solvants, réfrigération et air conditionné, consommation de tabac, traitement des eaux usées, etc.)

Tertiaire : Emissions liées aux activités et bâtiments des entreprises, commerces, institutions et services publics (combustion des appareils de chauffage, utilisation de solvants, réfrigération et air conditionné, bombes aérosols, utilisation de feux d'artifices, etc.)

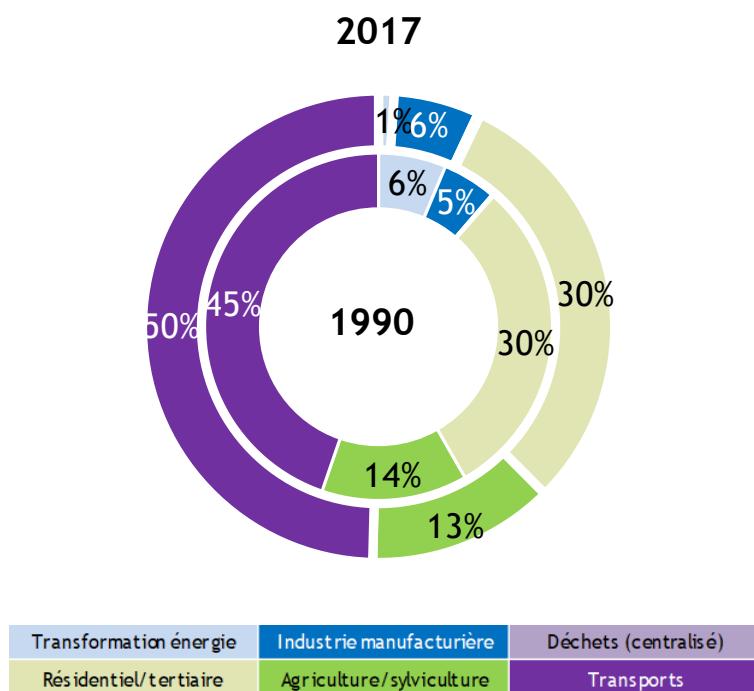
Les émissions de carbone suie en bref

Evolution des émissions de carbone suie en France métropolitaine



CITEPA-PM-secteur -d/BC.xlsx
Source CITEPA / format SECTEN - avr il2019

Répartition des émissions de Carbone suie en France métropolitaine



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), 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 en anglais).

Effets



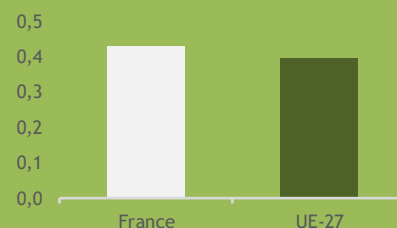
Effet de serre, forçage radiatif positif (mais plus limité que le CO₂ dû à sa courte durée de vie dans l'atmosphère, de 3 à 8 jours)



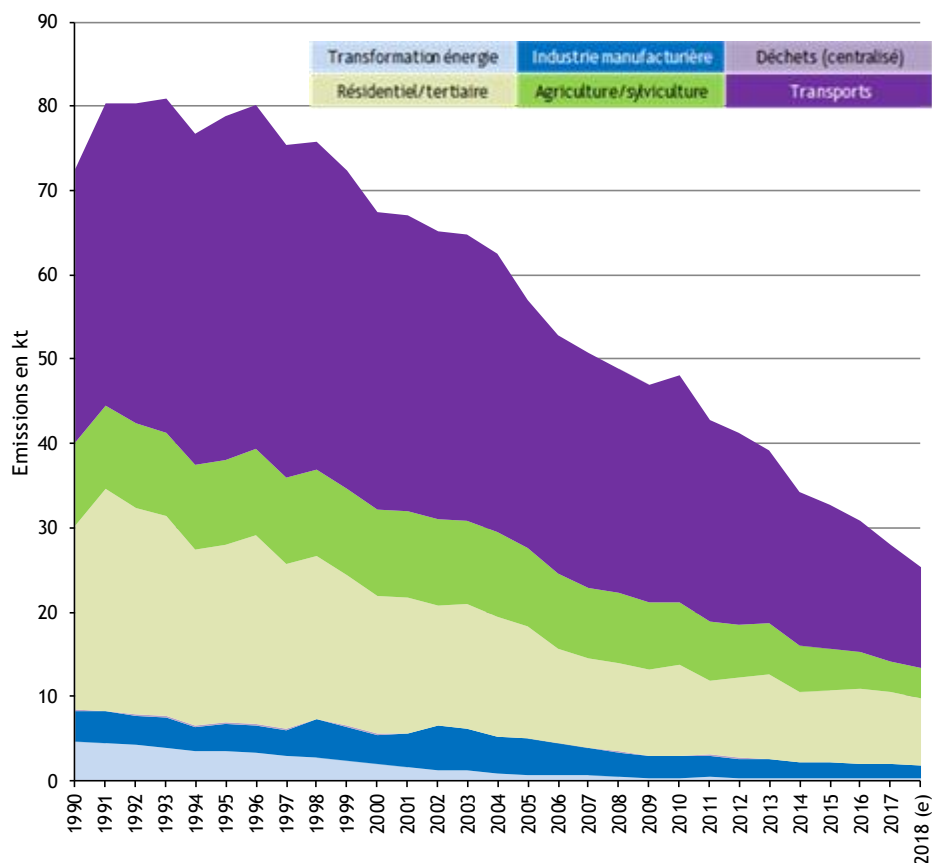
Santé (troubles des systèmes respiratoire et cardio-vasculaire. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérogènes)

Emissions par habitant

kg/hab/an en 2017



Evolution des émissions dans l'air de carbone suie en France métropolitaine depuis 1990



Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/BC.xlsx

Carbone suie

EMISSIONS DANS L'AIR EN FRANCE METROPOLITAINE

Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-PM-secteur-d/BC.xlsx

Gg = kt	Transformation énergie	Industrie manufacturière (1)	Traitement centralisé des déchets	Résidentiel / tertiaire	Agriculture/sylviculture	Transports (2)	TOTAL	Hors total (*)
1990	4,6	3,6	0,1	21,9	9,8	32,5	73	4,8
1993	3,9	3,6	0,1	23,7	10,0	39,7	81	3,0
1995	3,4	3,3	0,1	21,2	10,0	40,6	79	3,2
2000	1,9	3,6	0,0	16,4	10,3	35,2	67	3,9
2001	1,5	4,1	0,0	16,0	10,2	35,2	67	3,4
2002	1,2	5,3	0,0	14,3	10,1	34,2	65	4,7
2003	1,3	4,9	0,0	14,7	9,9	33,9	65	5,0
2004	0,8	4,5	0,0	14,1	10,1	32,9	62	3,7
2005	0,7	4,4	0,0	13,2	9,4	29,4	57	3,8
2006	0,6	3,8	0,0	11,2	8,9	28,4	53	3,5
2007	0,6	3,4	0,0	10,5	8,5	27,8	51	3,6
2008	0,5	2,9	0,0	10,5	8,4	26,5	49	3,3
2009	0,4	2,5	0,0	10,3	7,9	26,0	47	3,6
2010	0,3	2,6	0,0	10,8	7,4	26,9	48	3,4
2011	0,4	2,6	0,0	8,8	7,0	23,8	43	3,6
2012	0,3	2,3	0,0	9,6	6,2	22,8	41	3,4
2013	0,3	2,2	0,0	10,0	6,0	20,6	39	3,0
2014	0,3	1,9	0,0	8,3	5,5	18,1	34	2,9
2015	0,3	1,8	0,0	8,6	4,9	17,0	33	3,2
2016	0,3	1,7	0,0	8,9	4,3	15,4	31	3,0
2017	0,3	1,6	0,0	8,5	3,6	13,8	28	3,2
2018 (e)	0,3	1,6	0,0	7,9	3,6	11,9	25	3,4

Analyse des émissions de carbone suie

Tendance générale

Le niveau actuel des émissions de carbone suie, 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 de diesel,
- le résidentiel/tertiaire, dont la principale source est la combustion de bois,
- l'agriculture/sylviculture, 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, les autres transports et le

Evolution récente

Au cours des dernières années, les émissions globales de carbone suie subissent une baisse continue, principalement due aux fortes réductions d'émissions dans les secteurs du transport routier 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 la combustion de carburants lors de l'échappement des vapeurs des carburants brûlés. En revanche, les émissions de carbone suie liées à l'usure de la route, des pneus et des freins, stagnent, voire augmentent légèrement. 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 sont en légère baisse.

Lors des années récentes, les émissions de carbone suie du secteur résidentiel/tertiaire sont plutôt fluctuantes, avec même des légères hausses entre 2011 et 2013, puis entre 2014 et 2016, avant de repartir à chaque fois à la baisse. Ceci peut s'expliquer par la variation du climat et durant les années 2011, 2014 et 2015, le climat très doux a entraîné une baisse nette de la consommation énergétique du

Notes de fin de section

(1) Y compris traitement in situ des déchets et des eaux usées

(2) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions relatives au transport maritime concernent les émissions dites "domestiques", c'est-à-dire rapportées dans le total national, à savoir le transport entre deux ports du territoire national. Les émissions relatives au transport aérien concernent les émissions sous total national, à savoir, les émissions des vols domestiques et internationaux relatives aux cycles LTO sur le territoire national (< 1000 m).

(*) Relativement aux périmètres de la CEE - NU / NEC - les émissions répertoriées hors total national sont les suivantes : les émissions maritimes internationales, les émissions de la phase croisière (≥ 1000 m) des trafics aériens domestique et international, ainsi que les émissions des sources biotiques de

traitement des déchets, sont tous émetteurs de carbone suie mais dans de moindres mesures. Les principaux sous-secteurs responsables de ces émissions sont la construction, la métallurgie de métaux ferreux et l'industrie papier/carton.

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. Le secteur du transport routier représente toujours à lui seul la moitié des émissions de carbone suie.

Néanmoins, les émissions totales de carbone suie suivent la tendance historique de diminution et ont presque été réduites d'un facteur 3 depuis 1990, grâce notamment aux efforts faits dans tous les secteurs.

résidentiel/tertiaire, contrairement à 2012 et 2013, plus froides, qui montrent un regain des émissions.

Les émissions récentes d'autres secteurs comme l'industrie manufacturière, la transformation d'énergie et le traitement des déchets sont tous en baisse, malgré des évolutions plus lentes à cause de marges de réduction de plus en plus faibles.

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.

Par conséquent, une continuité dans les réductions 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 visant les engins mobiles routiers (Euro) et non routiers (Stage), et sur des mesures supplémentaires. Le carbone suie étant le résultat de la combustion incomplète de matières carbonées, l'amélioration des rendements des procédés de combustion et les technologies de réduction existantes comme les filtres devraient également contribuer à réduire ces émissions.

l'agriculture et des forêts et les émissions des sources non-anthropiques.

(e) estimation préliminaire

Résidentiel : Emissions liées aux activités domestiques, notamment dans les bâtiments d'habitation (combustion des appareils de chauffage, feux ouverts, engins mobiles non routiers pour le loisir/jardinage, utilisation domestique de solvants, réfrigération et air conditionné, consommation de tabac, traitement des eaux usées, etc.)

Tertiaire : Emissions liées aux activités et bâtiments des entreprises, commerces, institutions et services publics (combustion des appareils de chauffage, utilisation de solvants, réfrigération et air conditionné, bombes aérosols, utilisation de feux d'artifices, etc.)

