

# Citepa. Rapport Secten édition 2020

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

## Particules

Rédaction

Grégoire BONGRAND

Nadine ALLEMAND

Vincent MAZIN

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

### Sommaire du chapitre

Définitions et origines.....	238
Particules totales en suspension (TSP).....	241
Particules grossières et fines (PM <sub>10</sub> ).....	245
Particules fines (PM <sub>2,5</sub> ).....	251
Particules fines ultrafines (PM <sub>1,0</sub> ).....	257
Carbone suie ( <i>black carbon</i> ).....	261

## 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 ou de fraction filtrable . Elles peuvent être aussi issues de réactions chimiques complexes à partir de gaz précurseurs dans l'atmosphère (combinaison de NH<sub>3</sub> et oxydes d'azote par exemple) et sont alors qualifiées de particules secondaires ou de fraction condensable. 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 **PM<sub>10</sub>**, particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 10 µm (microns),
- les **PM<sub>2,5</sub>**, 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<sub>2,5</sub> sont qualifiées de particules fines et incluent également les particules ultrafines. Les PM<sub>10</sub> 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 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.

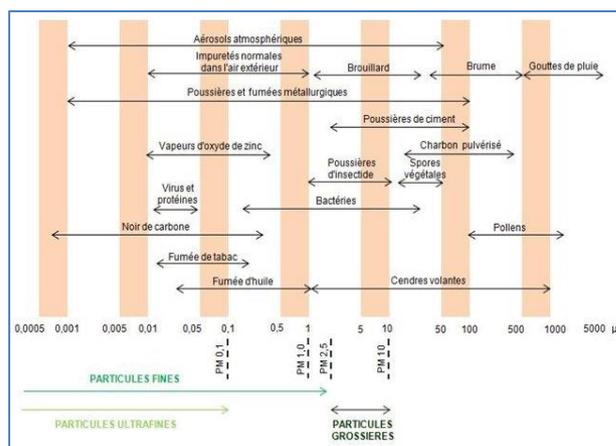
Les particules fines peuvent rester en suspension pendant plusieurs jours, voire quelques semaines et

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 le cas de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP), à l'Union Européenne, 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 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. Pourtant, il 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 en anglais)). Il est également reconnu pour avoir des impacts cardiovasculaires. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérogènes (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 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 réglementée 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) et national (plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (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 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  $PM_{2,5}$ . Dans l'Union européenne, le nombre de décès prématurés en 2015, imputé 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).

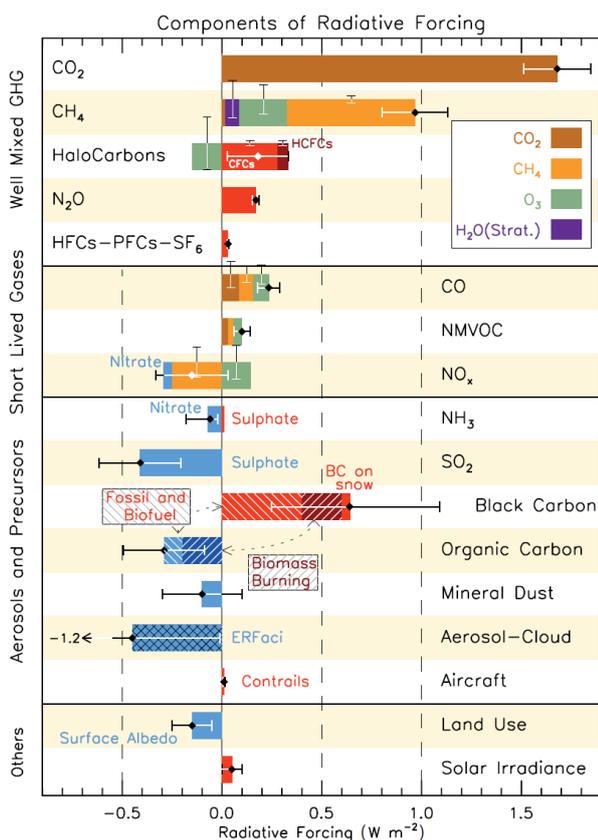


Figure 2 : Forçage radiatif des composés (IPCC- AR5-2014)

### 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<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>.

Les secteurs les plus émetteurs de particules à fraction condensable en France sont les suivants : Résidentiel et tertiaire (combustible solide, en l'occurrence le bois), Transport, Combustion dans l'industrie (solide, liquide, gaz et biomasse).

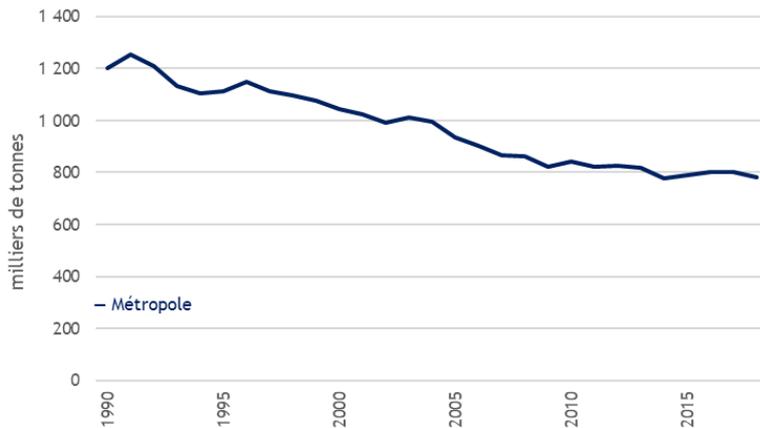
Les particules sont composées de fractions filtrables et condensables. Les particules filtrables sont à l'état solide ou liquide et sont piégées sur un filtre lors de mesures. Les particules condensables sont à l'état gazeux dans la cheminée mais se retrouvent ensuite à l'état solide ou liquide dans l'atmosphère, par des phénomènes de refroidissement ou de dilution. Lorsqu'une mesure de particules est réalisée, selon les méthodes employées, soit seules les particules filtrables sont détectées, soit l'ensemble des filtrables et des condensables est décelées ; les méthodes de mesure par dilution permettent de mesurer les condensables.

Les condensables sont semi volatiles, elles peuvent être organiques ou inorganiques. On considère généralement que les 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.

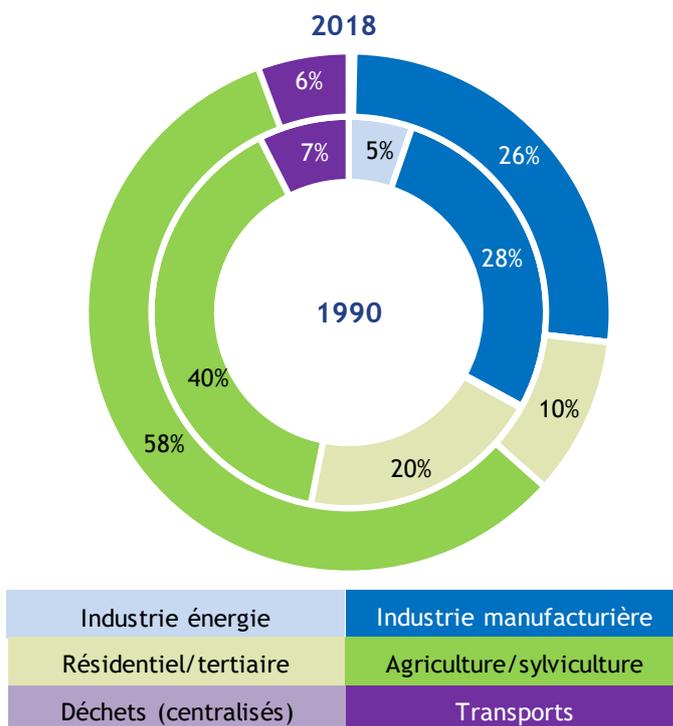
Actuellement, dans l'inventaire français, certains facteurs d'émissions utilisés pour estimer les émissions annuelles prennent bien en compte cette fraction condensable : c'est par exemple le cas pour les particules liées à l'échappement des véhicules dans le transport routier. En revanche, ce n'est pas le cas pour de nombreux autres secteurs. Des travaux nationaux et internationaux d'amélioration méthodologique sont donc en cours pour réviser ces facteurs d'émission afin qu'ils intègrent la part condensable, qui peut parfois s'avérer être importante. Ainsi, une telle révision impactera les émissions de PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub> 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).

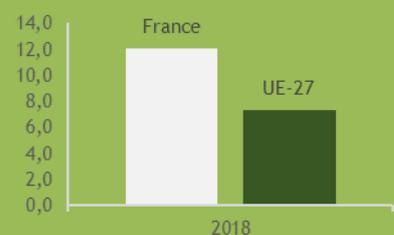
**Phénomènes associés**  
Particules primaires issues de rejets directs dans l'air.

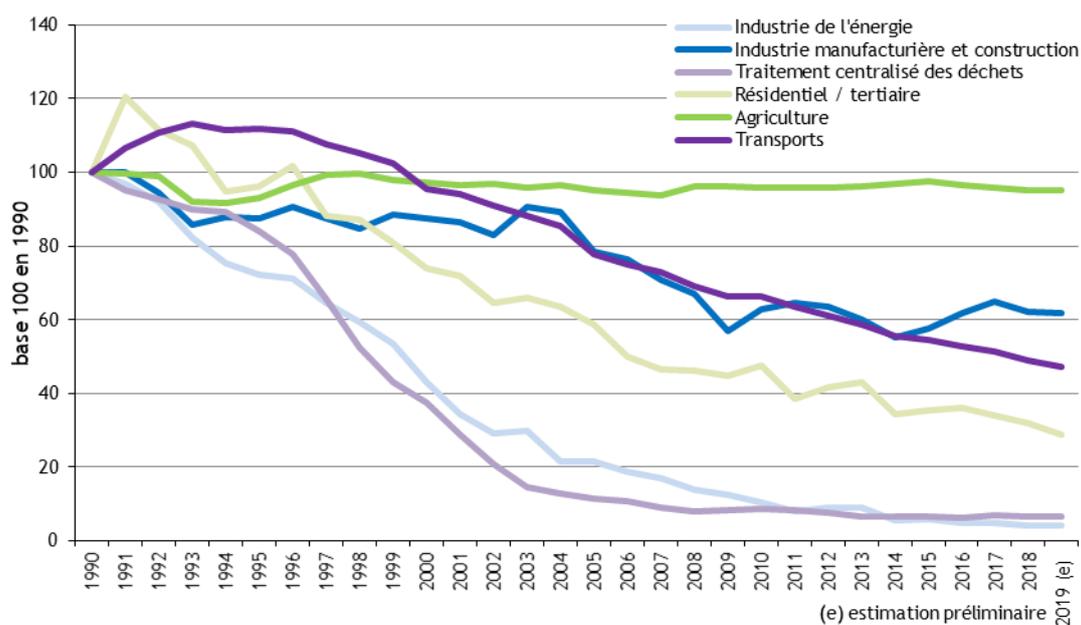
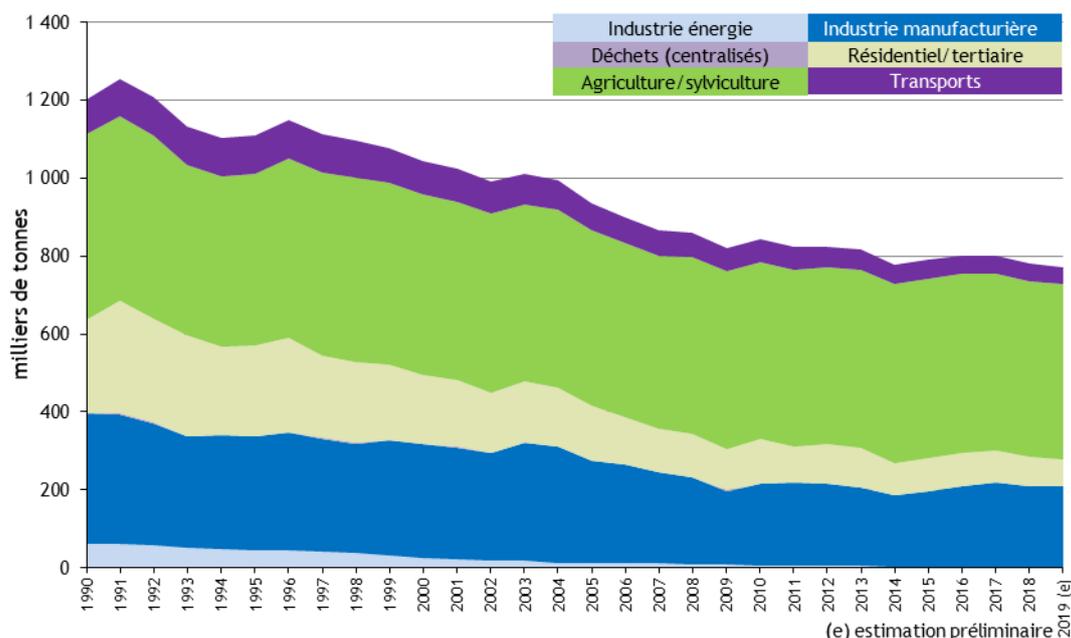
Particules secondaires issues de réactions chimiques entre gaz précurseurs (non prises en compte dans les inventaires).

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

⚠️ Santé

Emissions par habitant en 2018





Emissions de TSP (kt/an) Périmètre : Métropole		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie		62,6	45,1	27,0	13,4	6,6	3,6	3,1	2,9	2,7	2,7
Industrie manufacturière et construction		333,0	291,6	291,1	260,9	208,7	191,9	205,6	216,4	206,5	205,3
Traitement centralisé des déchets		2,2	1,8	0,8	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Résidentiel / tertiaire		239,9	231,0	177,5	140,7	114,0	84,7	86,9	81,7	76,4	69,1
Agriculture		473,8	441,2	461,1	451,0	453,5	462,1	458,0	453,8	450,6	450,8
Agriculture hors total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports		89,4	100,0	85,3	69,6	59,3	48,6	47,2	45,8	43,7	42,1
Transport hors total		15,8	14,4	19,0	18,8	17,4	12,9	12,1	13,0	14,6	13,3
<b>TOTAL national hors UTCATF</b>		<b>1 201</b>	<b>1 111</b>	<b>1 043</b>	<b>936</b>	<b>842</b>	<b>791</b>	<b>801</b>	<b>801</b>	<b>780</b>	<b>770</b>
UTCATF		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UTCATF Hors total		19,9	5,5	10,2	5,3	2,3	3,8	3,9	6,3	1,2	1,2
Emissions naturelles hors total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL national avec UTCATF</b>		<b>1 201</b>	<b>1 111</b>	<b>1 043</b>	<b>936</b>	<b>842</b>	<b>791</b>	<b>801</b>	<b>801</b>	<b>780</b>	<b>770</b>
Hors total		35,6	19,9	29,2	24,1	19,6	16,7	16,0	19,3	15,9	14,6

## 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 se portent plus les particules plus fines comme les PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub> ou les particules ultrafines.

#### 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 PM10 et PM2.5 (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

e 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 dizaines de 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 159,5 %.

#### 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, mais 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. A 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, les particules dites secondaires ne sont pas incluses dans les résultats d'émissions de TSP de nombreuses sources.

### 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), 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 (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 ont connu une très forte baisse (- 96% depuis 1990) et sont désormais très marginales. Les activités 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), 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.

## 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, 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). Durant les dernières années, les particules totales en suspension ont été une source croissante d'attention, notamment parce qu'elles englobent les particules fines qui présentent des enjeux pour la santé humaine. Pour cette raison, de nouvelles réductions et une poursuite de la baisse actuelle des émissions sont attendues pour les prochaines années. Pour y parvenir, différentes actions ont été mises en place, parmi lesquelles : des *règlementations avec des valeurs limites* d'émission notamment pour les installations de combustion ou les engins mobiles non routiers ; et des *zones de circulation alternée*.

De plus, de nouveaux progrès sont réalisés régulièrement sur l'efficacité et l'optimisation des procédés industriels et des équipements de combustion, et plusieurs technologies de réduction existent également pour filtrer les particules lors de l'échappement des fumées de combustion.

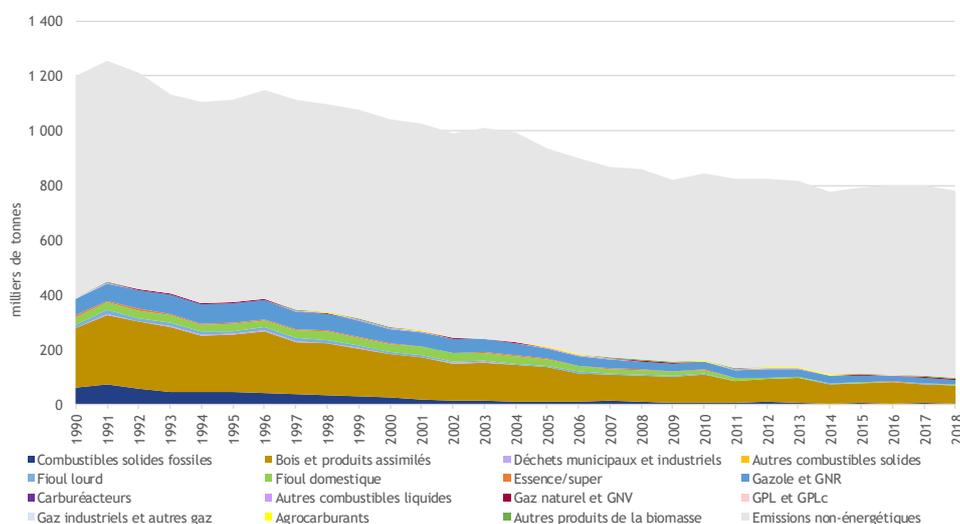
Enfin, il est important de mentionner que les émissions de TSP pourraient augmenter dans les prochaines années du fait du développement de la combustion de la biomasse, qui est plus émettrice de particules que les combustibles qu'elle substitue généralement (fioul, gaz naturel). En effet, dans le cadre 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. Pour le bois 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). 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 12% 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 35%).

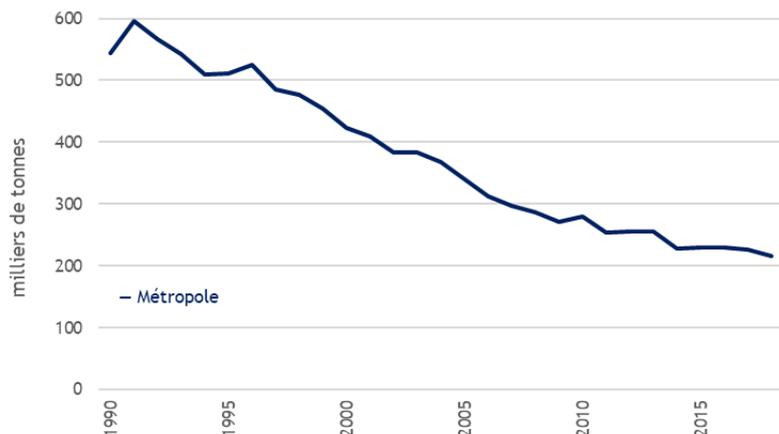
Parmi les combustibles, la consommation de biomasse est et a toujours été le principal émetteur de TSP représentant 55% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 69% en 2018. La part grandissante du bois dans les émissions, alors même que ses émissions propres ont diminué de presque 70%, est due notamment à la substitution progressive des combustibles solides fossiles et à l'introduction en 2011 de filtre à particules sur les véhicules diesel.

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

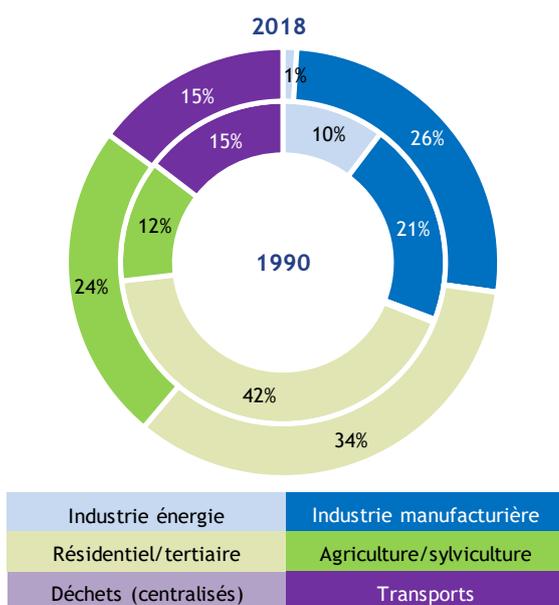


## En bref

### Evolution des émissions de PM<sub>10</sub> en France



### Répartition des émissions de PM<sub>10</sub> en France



# PM<sub>10</sub>

## 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/m<sup>3</sup>) et les particules fines. En moyenne dans l'air ambiant, les PM<sub>10</sub> sont composées majoritairement (à 70%) de PM<sub>2,5</sub>. (AIRPARIF).

### Composition chimique

La composition chimique dépend de leur origine et des mécanismes de formation : elle peut associer le carbone suie (émis lors de phénomènes de combustion incomplète), une fraction minérale (éléments issus de l'érosion, sables), des composés inorganiques (sulfates, nitrates, ammonium issus de réactions chimiques entre gaz précurseurs), des métaux (plomb, zinc, etc.) et du carbone organique. Les proportions de ces composantes chimiques évoluent avec la taille des particules. Les particules les plus fines sont plutôt associées aux composés secondaires.

### Origine

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

### Phénomènes associés

*Particules primaires* issues de rejets directs dans l'air. *Particules secondaires* issues d'une réaction chimique : par exemple, lors de la combinaison entre l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et des oxydes d'azote.

### Effets

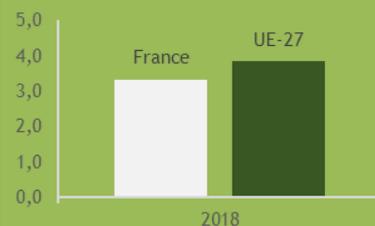


Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

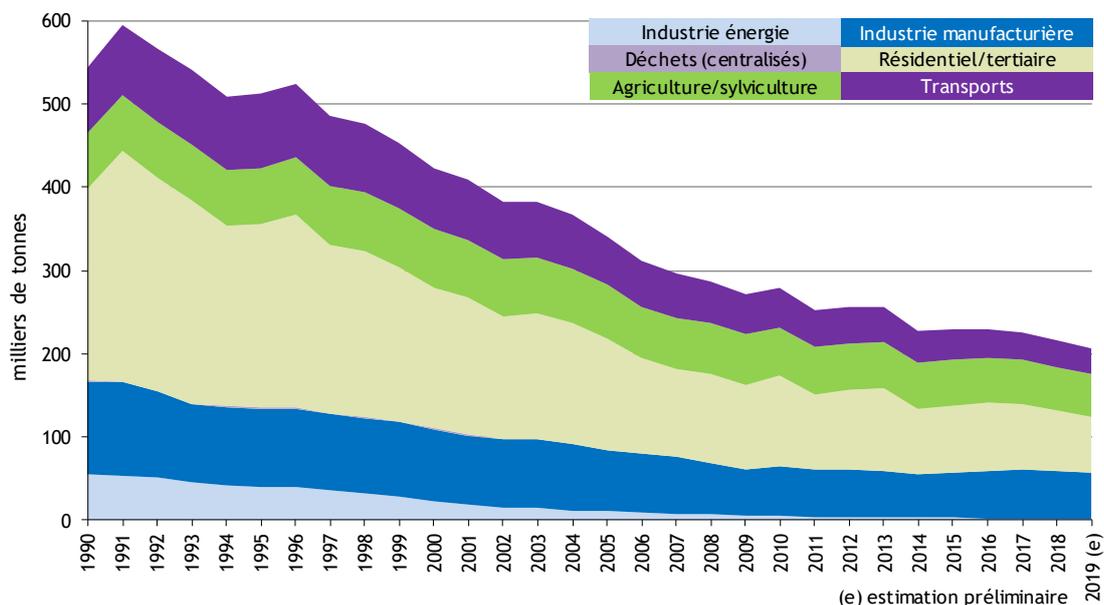


Santé

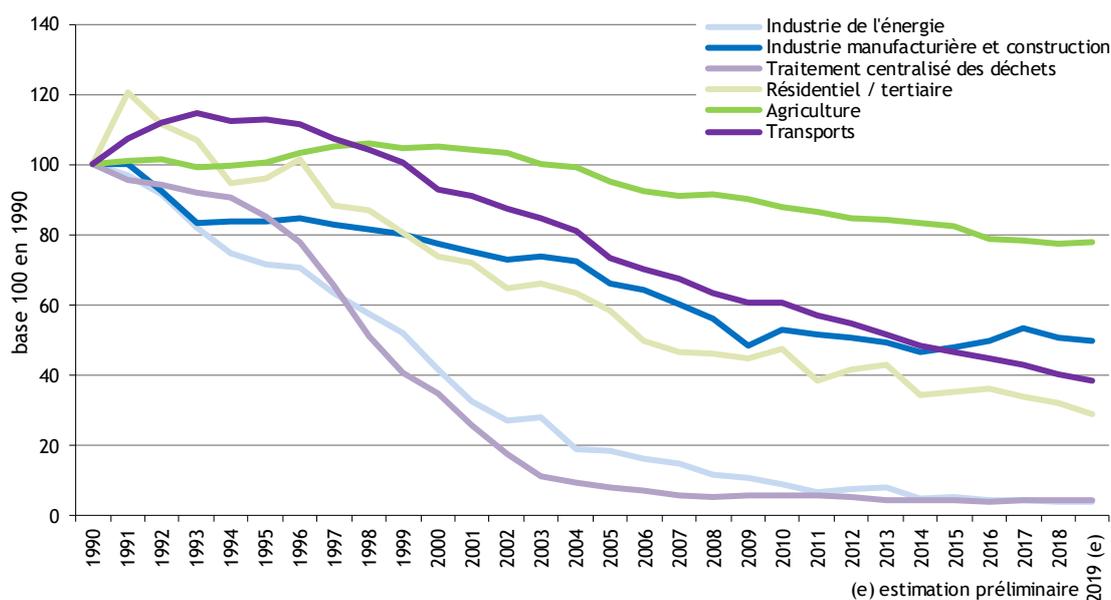
### Emissions par habitant en 2018



Evolution des émissions dans l'air de PM<sub>10</sub> depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de PM<sub>10</sub> en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de PM<sub>10</sub> (kt/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	55,7	40,0	23,2	10,4	5,1	2,9	2,5	2,4	2,2	2,2
Industrie manufacturière et construction	111,4	93,6	86,4	73,9	58,9	53,7	55,8	59,4	56,4	55,4
Traitement centralisé des déchets	1,8	1,5	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Résidentiel / tertiaire	228,9	220,4	169,3	134,3	109,0	81,1	83,1	78,1	73,1	66,1
Agriculture	66,7	67,2	70,1	63,7	58,6	55,2	52,8	52,5	51,8	51,9
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	79,1	89,4	73,7	58,0	48,2	37,1	35,6	34,1	32,1	30,4
Transport hors total	15,1	13,8	18,2	18,0	16,6	12,4	11,6	12,5	14,0	12,8
<b>TOTAL national hors UTCATF</b>	<b>543,6</b>	<b>512,1</b>	<b>423,3</b>	<b>340,3</b>	<b>280,0</b>	<b>230,0</b>	<b>229,8</b>	<b>226,6</b>	<b>215,7</b>	<b>206,2</b>
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	12,8	3,6	6,6	3,5	1,5	2,4	2,5	4,1	0,8	0,8
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL national avec UTCATF</b>	<b>543,6</b>	<b>512,1</b>	<b>423,3</b>	<b>340,3</b>	<b>280,0</b>	<b>230,0</b>	<b>229,8</b>	<b>226,6</b>	<b>215,7</b>	<b>206,2</b>
Hors total	27,9	17,4	24,8	21,4	18,1	14,8	14,2	16,6	14,8	13,6

## 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<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub> ou les particules ultrafines, qui font partie inhérente des PM<sub>10</sub>.

#### Effets environnementaux

En ce qui concerne l'impact que peuvent avoir les PM<sub>10</sub> sur l'environnement, beaucoup de phénomènes distincts peuvent être considérés, à diverses échelles, et pour toutes tailles de particules. De ce fait, il est conseillé de se référer à la partie générale sur les effets sur l'environnement en début de chapitre pour en connaître davantage sur les enjeux environnementaux liés aux particules.

#### Objectifs de réduction

Les objectifs de réduction des particules à l'échelle internationale, nationale et même locale concernent principalement les émissions et les concentrations de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> (cf. partie ci-dessus sur réglementations) avec notamment le protocole de Göteborg, qui fut transposé en droits européens par la directive de réduction des plafonds d'émissions de polluants (i.e., NECD en anglais) puis, en France, par le PREPA.

En ce qui concerne les émissions de PM<sub>10</sub>, 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 comme l'incinération de déchets, le transport routier ou bien pour les entreprises IPPC. En revanche, en termes de qualité de l'air, les concentrations de PM<sub>10</sub> sont régulièrement mesurées et surveillées afin que les concentrations moyennes journalières et annuelles ne dépassent pas certains seuils fixés par l'état sur recommandations de l'OMS, ou tout du moins pas plus de 35 jours par an en ce qui concerne la concentration moyenne quotidienne.

#### 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 dizaines de 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 57,8 %.

#### A noter

Il est important de noter que, dans l'inventaire national, certaines émissions de PM<sub>10</sub> 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, mais 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. A 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, les particules dites secondaires ne sont pas incluses dans les résultats d'émissions de PM<sub>10</sub> de nombreuses sources.

### Tendance générale

Le niveau actuel des émissions de particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM<sub>10</sub>) est le plus bas observé depuis 1990. En France métropolitaine, tous les secteurs sont émetteurs de PM<sub>10</sub>, 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 significativement plus importantes en 1990 du fait de l'extraction minière. Les émissions de PM<sub>10</sub> 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 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 à la diminution des émissions.

## Évolution récente

Lors des dernières années, les émissions globales de PM<sub>10</sub> ont tendance à baisser, même si le taux de diminution est plus lent depuis 2014. Néanmoins, en 2018, les émissions de PM<sub>10</sub>, qui étaient plus ou moins en stagnation depuis 2014, ont connu une baisse plus significative (- 5% entre 2017 et 2018), notamment dû à un hiver plus doux et donc une contribution plus faible de la combustion résidentielle, mais également grâce à la baisse des émissions de l'industrie manufacturière et de la construction.

Malgré cette légère baisse relative, 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, le papier/carton et d'autres industries qui voient leurs émissions être en légère augmentation comparativement aux niveaux de 2014. Bien qu'il ne représente plus un secteur majeur des émissions de PM<sub>10</sub>, le secteur de la transformation d'énergie est également en stagnation du fait de l'augmentation légère des émissions du chauffage urbain comparée à 2012 (augmentation des installations fonctionnant à la biomasse), tandis que celles liées à la production d'électricité continue sa diminution continue au fur et à mesure que les centrales à charbon se font substituer.

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 PM<sub>10</sub> 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, a probablement aidé à diminuer les émissions du résidentiel.

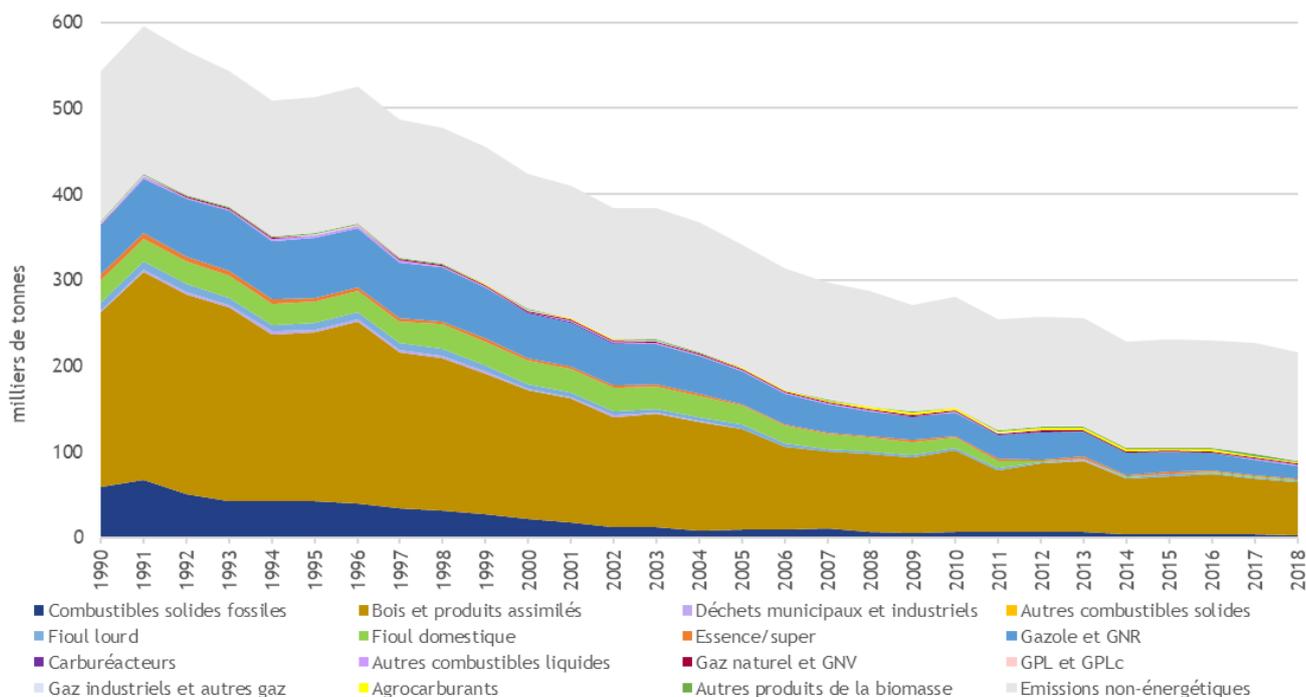
Les PM<sub>10</sub> attirent de plus en plus d'intérêt ces dernières années, notamment à cause des risques sanitaires causées par les particules dites « fines ». Il est projeté que les émissions de PM<sub>10</sub> continuent de diminuer au cours des prochaines années. Pour ce faire, les différentes mesures 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 affecter l'évolution des émissions de PM<sub>10</sub>.

### Part des émissions liée aux combustibles

Pour les PM<sub>10</sub>, 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 41% en 2018). Ceci est dû notamment aux progrès disparates réalisés entre les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 76% et 28% 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.

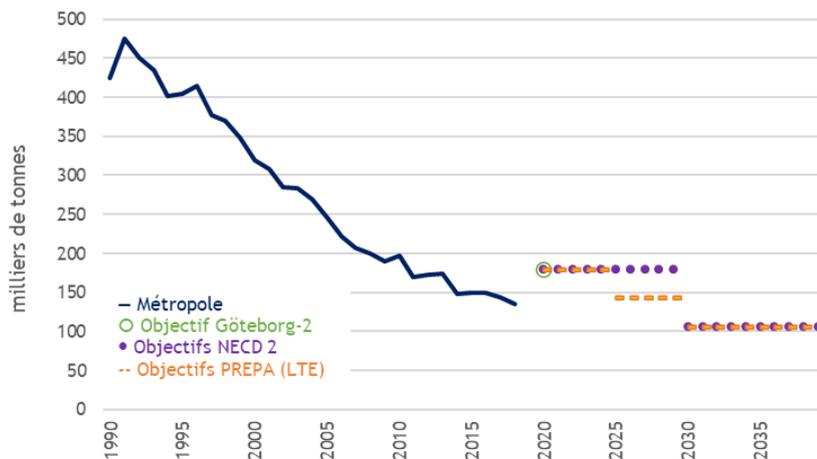
Parmi les combustibles, la consommation de biomasse est le principal contributeur d'émissions de PM<sub>10</sub>, représentant environ 55% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 69% en 2018. Pourtant, les émissions de la biomasse ont grandement participé à la réduction des émissions de PM<sub>10</sub> avec une réduction de ses émissions de plus de 70%. 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 96% des émissions de PM<sub>10</sub> 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 73% grâce au progrès technologique et à l'implémentation de filtres à particules en 2011, alors même que sa contribution totale aux émissions de combustibles était de l'ordre de 15 à 17%.



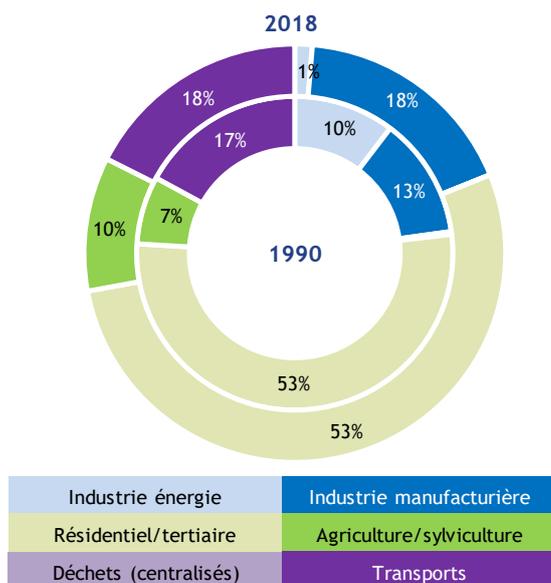


## Emissions de PM<sub>2,5</sub> bref

### Evolution des émissions de PM<sub>2,5</sub> en France



### Répartition des émissions de PM<sub>2,5</sub> en France



# PM<sub>2,5</sub>

## 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<sub>2,5</sub> 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<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, 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

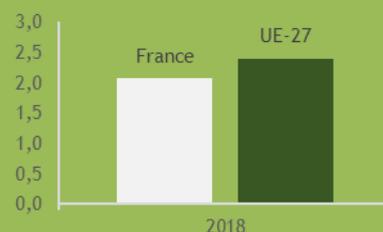


Effet de serre, forçage négatif pour carbone organique, sulfate, nitrate mais forçage positif pour composante carbone suie

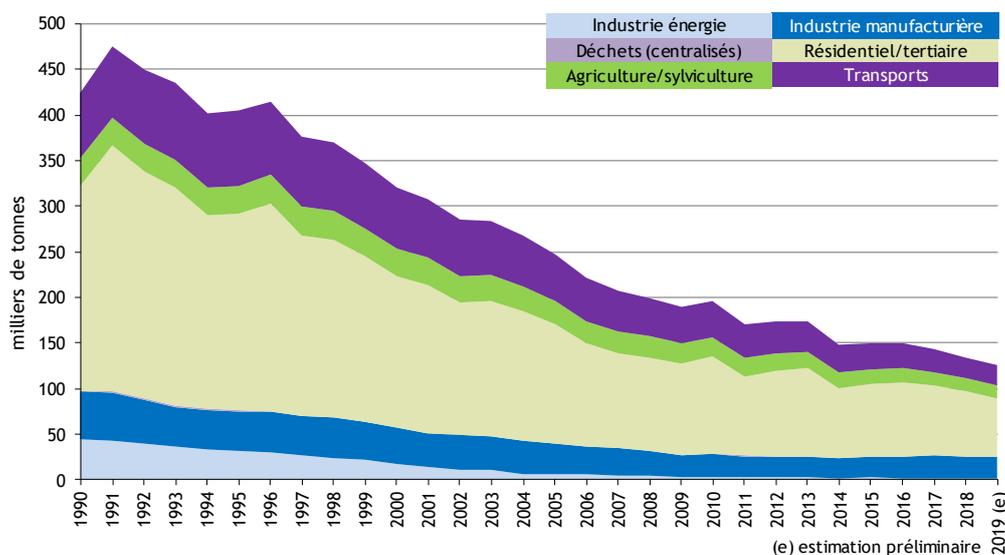


Santé

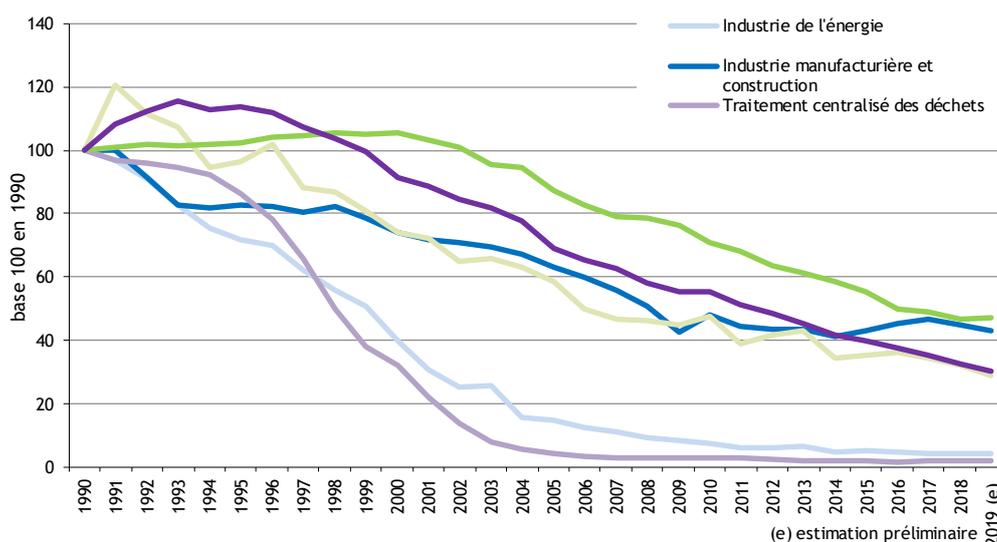
### Emissions par habitant en 2018



Evolution des émissions dans l'air de PM<sub>2,5</sub> depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de PM<sub>2,5</sub> en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de PM<sub>2,5</sub> (kt/an)

Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	43,8	31,3	17,4	6,3	3,2	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8
Industrie manufacturière et construction	52,8	43,6	39,1	33,2	25,4	22,7	23,8	24,7	23,6	22,8
Traitement centralisé des déchets	1,2	1,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Résidentiel / tertiaire	224,2	215,9	165,7	131,2	106,8	79,4	81,4	76,5	71,5	64,7
Agriculture	29,7	30,4	31,4	26,0	21,0	16,4	14,8	14,6	13,9	14,0
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	72,2	82,2	65,8	49,8	40,1	28,7	27,1	25,5	23,6	21,9
Transport hors total	14,1	12,8	17,0	16,7	15,5	11,5	10,7	11,6	13,0	11,8
<b>TOTAL national hors UTCATF</b>	<b>424,0</b>	<b>404,5</b>	<b>319,8</b>	<b>246,6</b>	<b>196,5</b>	<b>149,5</b>	<b>149,1</b>	<b>143,2</b>	<b>134,4</b>	<b>125,2</b>
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	10,5	2,9	5,4	2,8	1,2	2,0	2,1	3,3	0,7	0,7
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL national avec UTCATF</b>	<b>424,0</b>	<b>404,5</b>	<b>319,8</b>	<b>246,6</b>	<b>196,5</b>	<b>149,5</b>	<b>149,1</b>	<b>143,2</b>	<b>134,4</b>	<b>125,2</b>
Hors total	24,6	15,8	22,3	19,6	16,7	13,5	12,8	14,9	13,6	12,5

## 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.

Les particules dites fines, comme les PM<sub>2,5</sub>, ont attiré énormément l'attention ces dernières années, notamment dû au risque sanitaire qu'elles présentent sur les maladies cardio-vasculaires et respiratoires, et ont été classées en tant que substance cancérigène. Les PM<sub>2,5</sub> ont notamment été responsables de la mort prématurée de plus de 35 000 personnes en France en 2015. (Voir paragraphe « Effets sur la santé » en début de chapitre).

#### Effets environnementaux

En ce qui concerne l'impact que peuvent avoir les PM<sub>2,5</sub> 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 de particules à l'échelle internationale, nationale et même locale concernent principalement les émissions et les concentrations de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> (cf. partie ci-dessus sur réglementations) avec notamment le protocole de Göteborg, qui fut transposé en droits européens par la directive de réduction des plafonds d'émissions de polluants (i.e., NECD en anglais) puis, en France, par le PREPA.

En ce qui concerne les émissions de PM<sub>2,5</sub>, 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 2018, le niveau d'émissions de PM<sub>2,5</sub> est inférieur à celui de 2005 de -46%. De plus, en ce qui concerne la qualité de l'air, les concentrations de PM<sub>2,5</sub> sont mesurées et surveillées quotidiennement et une limite seuil sur la concentration moyenne annuelle de 25 µg/m<sup>3</sup> doit être respectée.

#### 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 dizaines de 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 49,5 %.

#### A noter

Il est important de noter que, dans l'inventaire national, certaines émissions de PM<sub>2,5</sub> 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, mais 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. A 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, les particules dites secondaires ne sont pas incluses dans les résultats d'émissions de PM<sub>2,5</sub> de nombreuses sources.

#### Tendance générale

Le niveau des émissions de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns (PM<sub>2,5</sub>) 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 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 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 68%. 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 années 2011, 2014, 2015 et 2018, en plus des raisons expliquées précédemment, 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 2017, 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  $PM_{2,5}$  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 et 2018, 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.

D'autres secteurs comme l'industrie manufacturière sont 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 d'autres secteurs moins émetteurs comme le papier/carton ou les autres industries voient leurs émissions croître. 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 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.

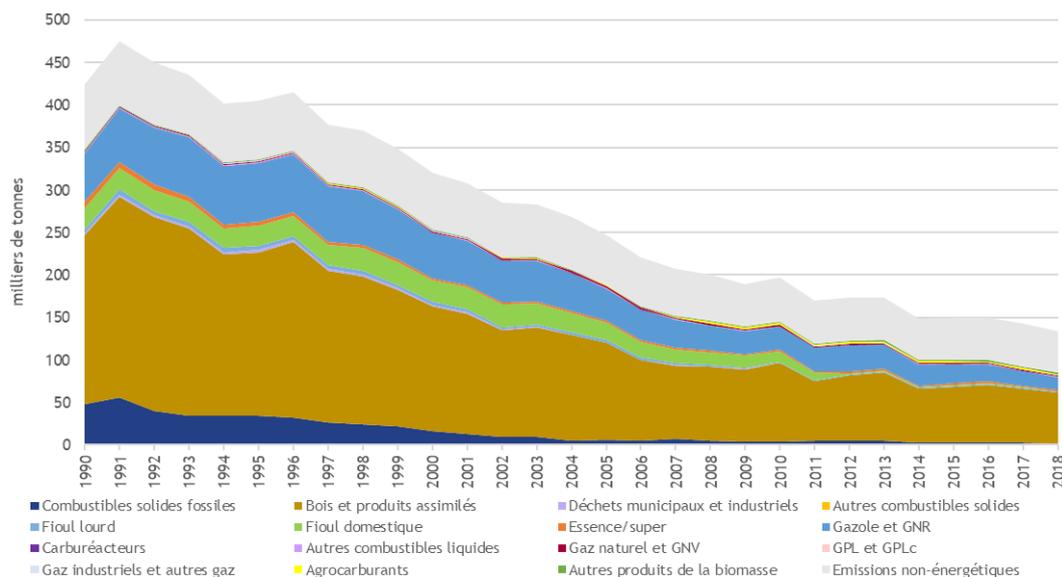
Par conséquent, il est attendu que les émissions de  $PM_{2,5}$  continuent de diminuer au cours des prochaines années. Les différentes mesures (à venir et existantes) concernant les particules en suspension sont, par exemple, les arrêtés sur les installations de combustion, les normes Euro, etc. qui devraient permettre de poursuivre les efforts réalisés dans la réduction des émissions. De plus, l'amélioration des performances des installations fixes, associée à des technologies de réductions 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.

## 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 63% en 2018). Une des explications réside dans la différence des progrès effectués pour réduire les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 75% et 28% comparativement à leurs niveaux de 1990. En effet, l'amélioration des rendements énergétiques des procédés et équipements conjointement avec l'implémentation 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.

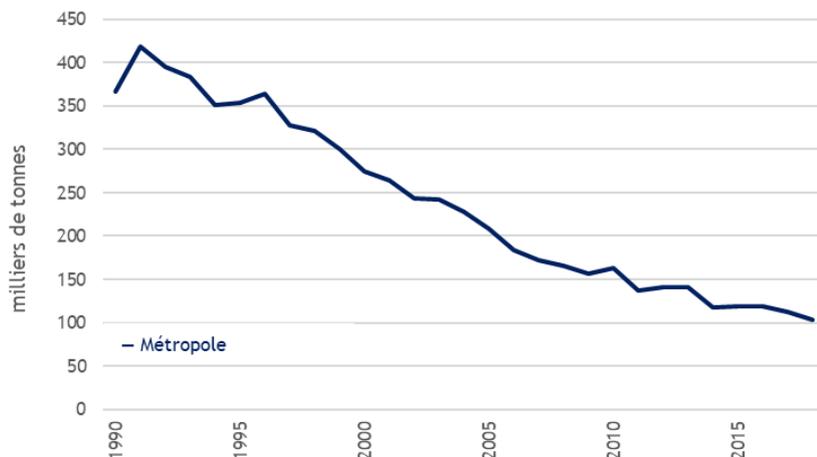
Parmi les combustibles, la consommation de biomasse est le principal contributeur aux émissions de  $PM_{2.5}$ , représentant environ 57% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 70% en 2018. Il est important de noter que, pour autant, les émissions de la biomasse ont diminué entre 1990 et 2018 de plus de 70%, 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 (-96% pour les 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 -74% grâce aux normes implémentées pour les véhicules passagers et les engins mobiles non routiers. Pour le gazole, l'implémentation 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 16% et 25% sur la série.



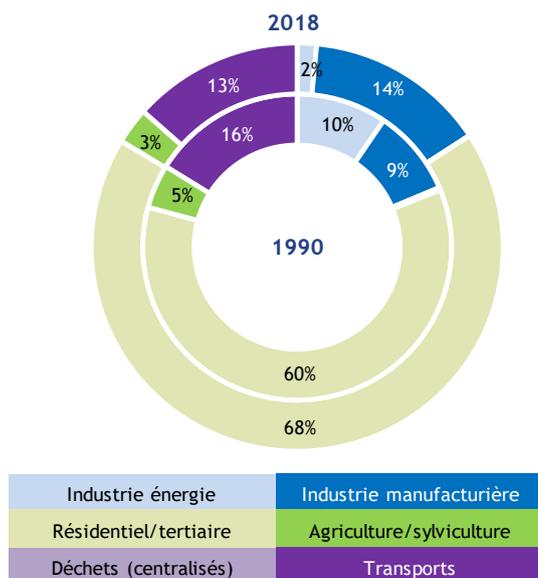


## Emissions de PM<sub>1,0</sub> en bref

### Evolution des émissions de PM<sub>1,0</sub> en France



### Répartition des émissions de PM<sub>1,0</sub> en France



# PM<sub>1,0</sub>

## 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<sub>1,0</sub> 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<sub>1,0</sub> 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<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, 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

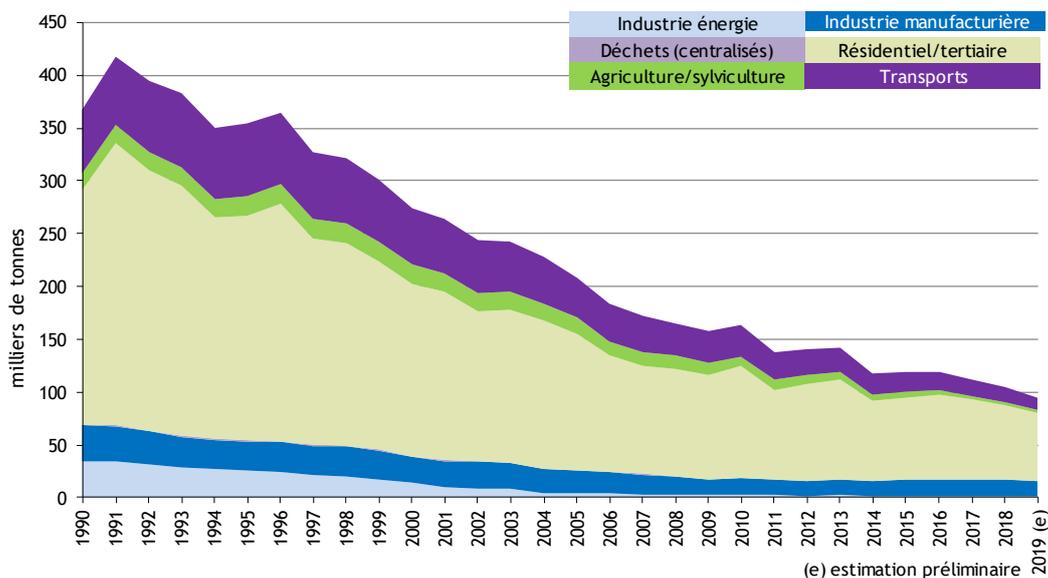


Santé

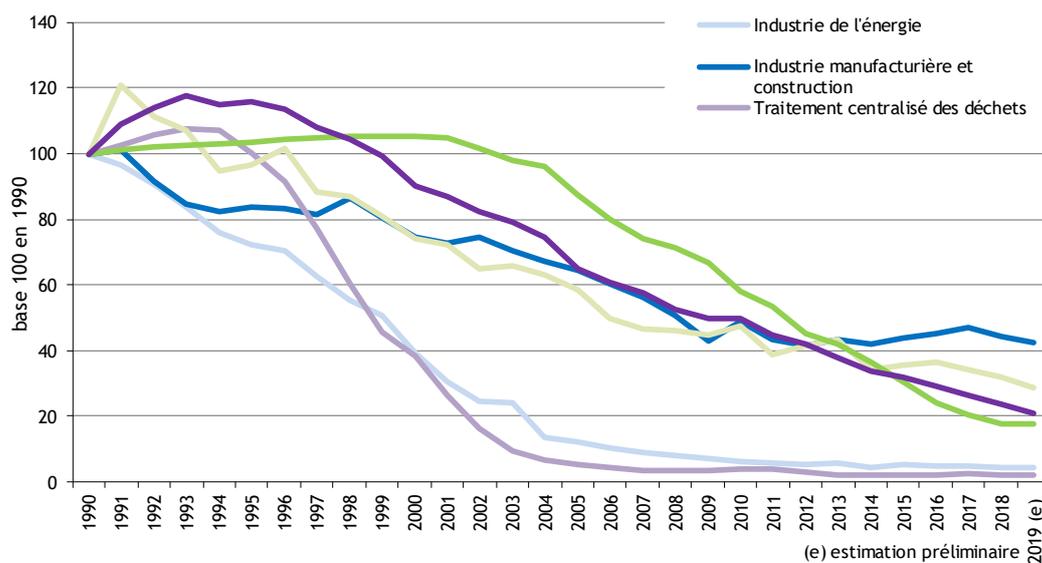
### Emissions par habitant en 2018



Evolution des émissions dans l'air de PM<sub>1,0</sub> depuis 1990 en France (Métropole)



Evolution des émissions dans l'air de PM<sub>1,0</sub> en base 100 en 1990 en France (Métropole)



Emissions de PM<sub>1,0</sub> (kt/an)  
Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	34,8	25,2	13,6	4,2	2,2	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6
Industrie manufacturière et construction	33,6	28,1	25,1	21,6	16,4	14,7	15,2	15,8	14,8	14,2
Traitement centralisé des déchets	1,0	1,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Résidentiel / tertiaire	221,4	213,4	163,6	129,6	105,6	78,4	80,4	75,5	70,6	63,9
Agriculture	17,0	17,6	17,9	14,9	9,9	5,2	4,1	3,5	3,0	3,0
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	59,3	68,8	53,4	38,4	29,5	18,8	17,2	15,7	14,0	12,3
Transport hors total	12,8	11,7	15,4	15,2	14,0	10,3	9,6	10,4	11,7	10,6
<b>TOTAL national hors UTCATF</b>	<b>367,1</b>	<b>354,1</b>	<b>273,9</b>	<b>208,8</b>	<b>163,6</b>	<b>118,9</b>	<b>118,6</b>	<b>112,1</b>	<b>104,0</b>	<b>95,1</b>
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL national avec UTCATF</b>	<b>367,1</b>	<b>354,1</b>	<b>273,9</b>	<b>208,8</b>	<b>163,6</b>	<b>118,9</b>	<b>118,6</b>	<b>112,1</b>	<b>104,0</b>	<b>95,1</b>
Hors total	12,8	11,7	15,4	15,2	14,0	10,3	9,6	10,4	11,7	10,6

## 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 bien le sang. Les particules fines (PM<sub>2,5</sub> et moins), ont attiré une forte attention ces dernières années, notamment dû au risque sanitaire 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<sub>2,5</sub> (qui incluent les PM<sub>1,0</sub>) 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<sub>1,0</sub> (voire même les PM<sub>0,1</sub>/PUF) suscitent de plus en plus ( voir « Effets sur la santé » en début de chapitre)

#### Effets environnementaux

Concernant l'impact que peuvent avoir les PM<sub>1,0</sub> sur l'environnement, beaucoup de phénomènes distincts peuvent être considérés, à diverses échelles, et pour toutes tailles de particules. De ce fait, il est conseillé de se référer à la partie générale sur les effets sur l'environnement en début de chapitre pour en connaître plus sur les enjeux environnementaux liés aux particules. Les « particules ultrafines », au diamètre inférieur à 0,1 µm sont une source croissante d'intérêt ces dernières années, à cause des risques sanitaires qui leurs sont associés.

#### Objectifs de réduction

Les objectifs de réduction de particules à l'échelle internationale, nationale et même locale concernent principalement les émissions et les concentrations de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> (cf. partie ci-dessus sur réglementations) avec notamment le protocole de Göteborg, qui fut transposé en droits européens par la directive de réduction des plafonds d'émissions de polluants (i.e., NECD en anglais) puis, en France, par le PREPA. Aucune spécification n'est donnée quant aux PM<sub>1,0</sub>, qui ne fait pas partie des polluants dont les émissions doivent être nécessairement estimées et reportées 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 dizaines de microns, l'impact de la prise en compte de la part condensable sur les émissions aura lieu pour toute taille de particules. Voir notre rapport méthodologique « Ominea ». Aucune incertitude n'est évaluée pour les PM<sub>1,0</sub>.

#### A noter

Il est important de noter que, dans les inventaires nationaux, estimer les émissions de PM<sub>1,0</sub> 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<sub>1,0</sub> 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, mais ne font pas partie du périmètre d'inclusion national. Enfin, dans l'inventaire national, la part de particules condensables émise est complexe à estimer dans de nombreux secteurs. A 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, les particules dites secondaires ne sont pas incluses dans les résultats d'émissions de PM<sub>1,0</sub> de nombreuses sources.

#### Tendance générale

Le niveau actuel des émissions de PM<sub>1,0</sub> 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 (68% en 2018), principalement due à la combustion du bois et, dans une moindre mesure, du charbon et du fioul. Les émissions de PM<sub>1,0</sub> 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 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 plus de 70%. Cette tendance à la baisse est observée sur l'ensemble des secteurs sauf pour le transport maritime, fluvial et aérien (relativement stables). Toutefois, l'année 1991 a niveau d'émission élevé (maximum observé sur la période) consécutive, en particulier, à 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, 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 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  $PM_{1,0}$ . L'année 2018 fut plutôt favorable niveau climat (similaire à 2015), ce qui a permis d'atteindre le niveau le plus bas observé pour ce secteur sur la période donnée. Bien que le climat influe fortement sur les émissions du chauffage résidentiel, à climats similaires, le niveau de 2018 est plus bas que celui de 2015 d'environ 12.5%, soulignant les progrès de réduction effectués encore récemment.

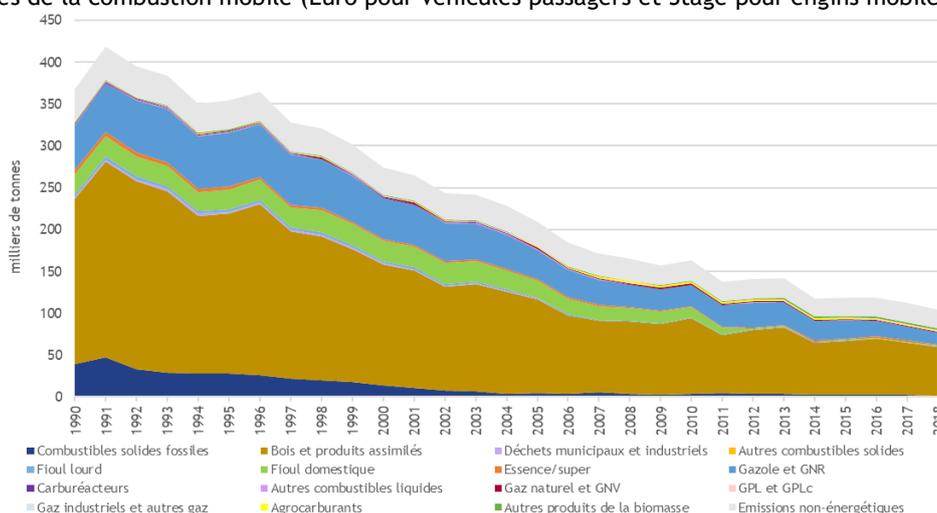
L'industrie et la transformation d'énergie sont plutôt stagnants depuis quelques années, dû à l'intensification de l'activité de sous-secteurs comme la métallurgie des métaux ferreux, le papier/carton et le chauffage urbain tandis que d'autres contributeurs significatifs comme la construction et la transformation de combustibles minéraux solides stagnent. 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.

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 pour des raisons d'émissions de gaz à effet de serre.

## Part des émissions liée aux combustibles

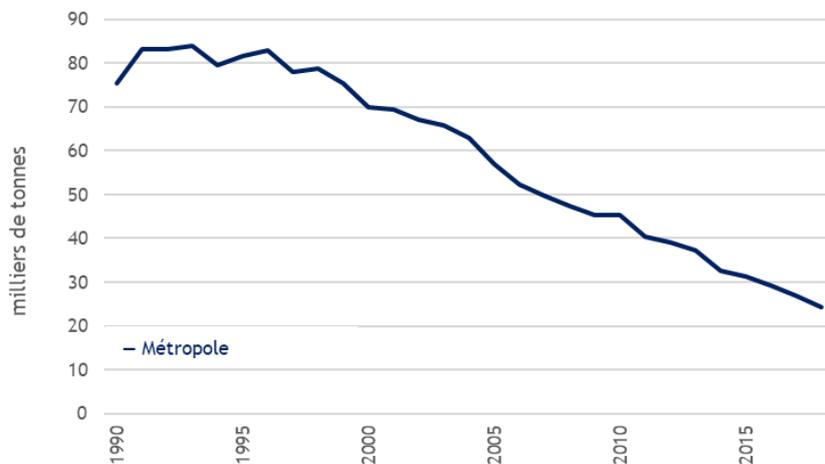
La contribution de la combustion de combustibles aux émissions totales de  $PM_{1,0}$  est prépondérante, malgré une légère baisse progressive au cours de la période (89% en 1990 contre 79% en 2018). Ceci s'explique par les rythmes irréguliers auxquels les émissions énergétiques et non-énergétiques décroissent, avec des réductions respectives de 75% et 44% comparativement à leurs niveaux de 1990. En effet, l'amélioration des rendements énergétiques des procédés et équipements conjointement avec l'implémentation 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 biomasse est le principal émetteur de  $PM_{1,0}$  en France, contribuant à hauteur de 60% en 1990 et 71% en 2018 aux émissions énergétiques. Pourtant, les émissions de la biomasse ont fortement diminué entre 1990 et 2018, atteignant des réductions de plus de 70%, 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 la biomasse, dans des intérêts liés aux émissions de gaz à effet de serre. Parmi eux, les combustibles solides fossiles ont été délaissés au fur et à mesure, se témoignant par une baisse de plus de 95% de leurs émissions 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 -97% et -74%, notamment grâce aux normes de la combustion mobile (Euro pour véhicules passagers et Stage pour engins mobiles non routiers).

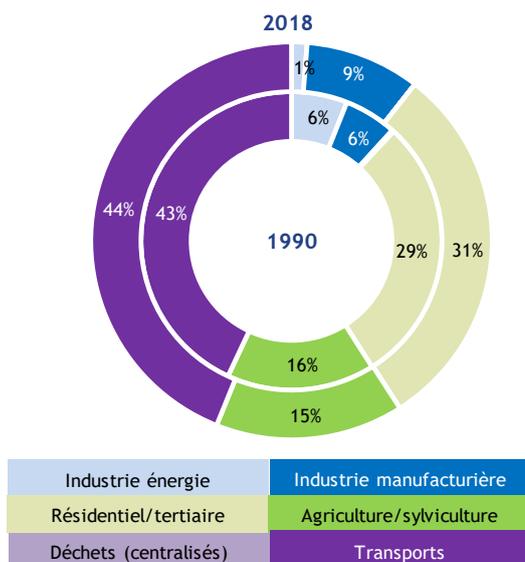


## Emissions de carbone suie en bref

### 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), 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

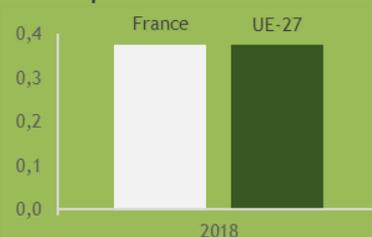


Effet de serre, forçage radiatif positif (mais plus limité que le CO<sub>2</sub> dû à sa courte durée de vie dans l'atmosphère, de 3 à 8 jours)



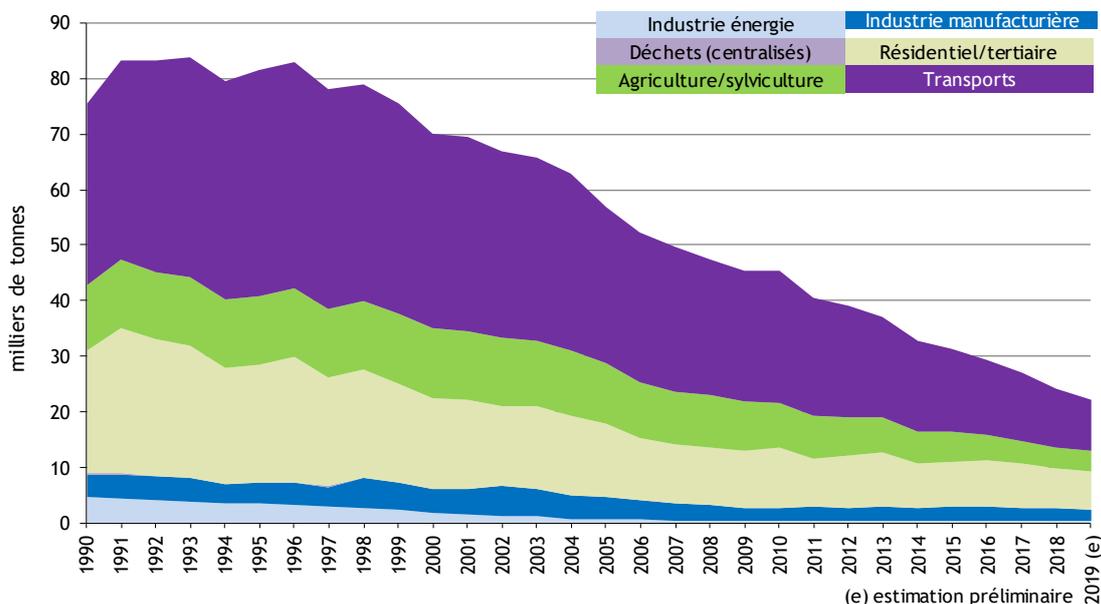
Santé (troubles des systèmes respiratoire et cardio-vasculaire. Les suies des moteurs Diesel sont classées cancérigènes)

### Emissions par habitant en 2018

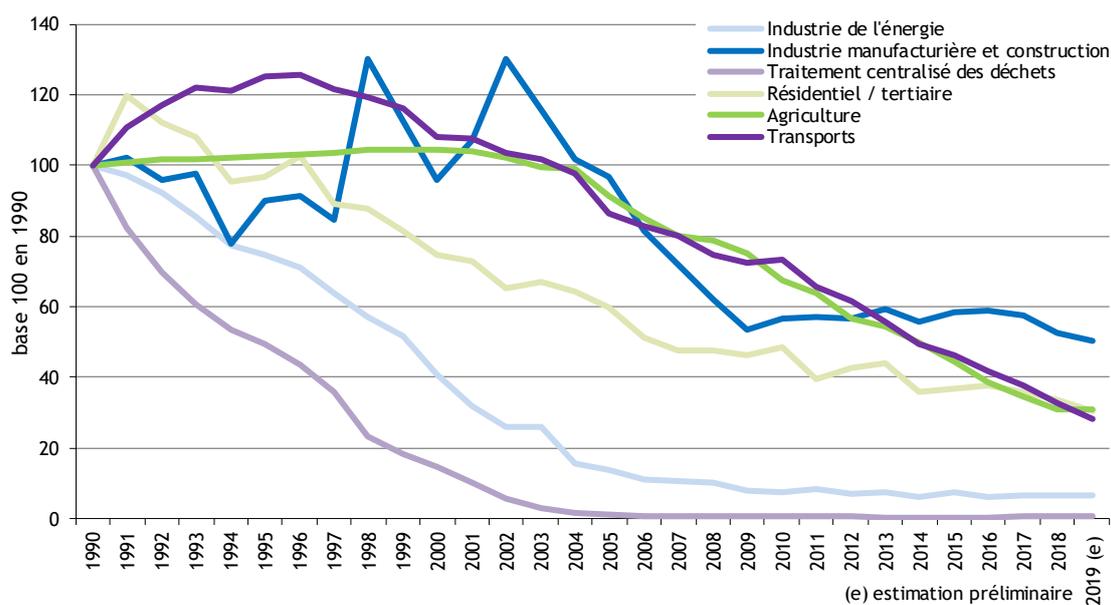


# Carbone suie

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



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



Emissions de BC (kt/an)  
Périmètre : Métropole

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019 (e)
Industrie de l'énergie	4,5	3,4	1,8	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Industrie manufacturière et construction	4,3	3,9	4,1	4,1	2,4	2,5	2,5	2,5	2,3	2,2
Traitement centralisé des déchets	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Résidentiel / tertiaire	22,0	21,3	16,4	13,1	10,7	8,1	8,3	7,8	7,4	6,7
Agriculture	12,0	12,3	12,6	11,0	8,1	5,4	4,6	4,1	3,7	3,7
Agriculture hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transports	32,5	40,6	35,0	28,1	23,8	15,0	13,6	12,2	10,7	9,2
Transport hors total	2,4	2,4	3,2	3,1	2,9	2,5	2,4	2,5	2,7	2,7
TOTAL national hors UTCATF	75,4	81,5	70,0	57,0	45,3	31,3	29,3	26,9	24,3	22,1
UTCATF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UTCATF Hors total	2,9	0,8	1,5	0,8	0,3	0,6	0,6	0,9	0,2	0,2
Emissions naturelles hors total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL national avec UTCATF	75,4	81,5	70,0	57,0	45,3	31,3	29,3	26,9	24,3	22,1
Hors total	5,3	3,2	4,7	3,9	3,3	3,1	3,0	3,5	2,9	2,8

# Carbone suie

## Analyse

### Enjeux

#### Effets sanitaires

Le carbone suie, de par ses faibles dimensions, présente des risques similaires à celles des particules fines 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 48,9 %.

#### 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 LRTAP. 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 du transport international aérien, fluvial ou maritime en font partie, ainsi que les émissions naturelles liées aux feux de forêts.

## 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**, 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 (11% des émissions totales de BC à eux tous en 2018). Parmi eux, les principaux sous-secteurs responsables de ces émissions sont la construction, la métallurgie de métaux ferreux, la production de minéraux non métalliques 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. Le secteur du transport routier représente toujours à lui seul la moitié des émissions de carbone suie. 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.

Néanmoins, les émissions totales de carbone suie suivent la tendance historique de diminution et ont été réduites de plus d'un facteur 3 depuis 1990, grâce notamment aux efforts conjoints de tous les secteurs mais notamment de la combustion mobile 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 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 stagnent depuis quelques années.

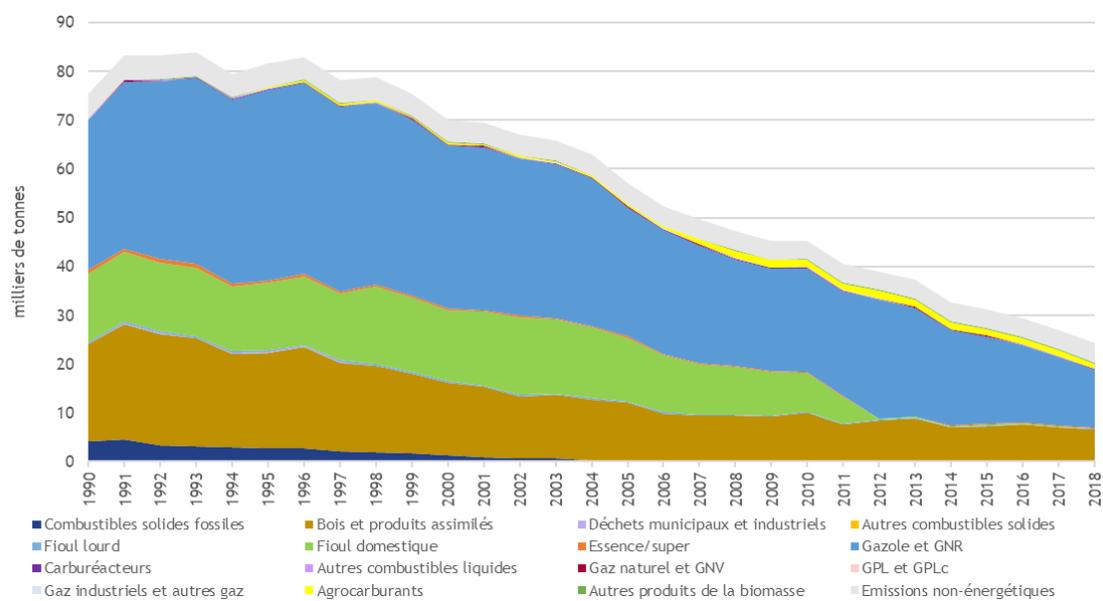
Lors des années récentes, les émissions de carbone suie du secteur résidentiel/tertiaire sont fluctuantes, (légères hausses entre 2011 et 2013, et entre 2014 et 2016, suivies de baisses). Ceci peut s'expliquer par la variabilité climatique annuelle et durant les années 2011, 2014 et 2015, le climat très doux a entraîné une baisse nette de la consommation énergétique du résidentiel/tertiaire, contrairement à 2012 et 2013, plus froides, qui montrent un regain des émissions. L'année 2018 a présenté un climat relativement favorable qui a permis, conjointement avec les efforts entrepris, de continuer la baisse des émissions observée. Les émissions récentes d'autres secteurs comme l'industrie manufacturière, la transformation d'énergie et le traitement des déchets sont toutes en baisse, malgré des évolutions plus lentes compte tenu des marges de réduction qui deviennent de plus en plus faibles.

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.

## 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 84% en 2018). Ceci est lié notamment aux progrès disparates réalisés entre les émissions énergétiques et non-énergétiques, avec des réductions respectives de 71% et 21% 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 44% des émissions de la combustion de combustibles en 1990 et 58% en 2018. Néanmoins, les émissions du gazole ont fortement diminué et participé à la tendance générale observée avec une réduction de ses émissions de plus de 61%. La part croissante des émissions du gazole est en partie due à la substitution progressive des combustibles solides fossiles (-97% 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 32% aux émissions de BC sur la période étudiée. Le bois a également permis cette réduction globale d'émissions avec une baisse de ses émissions de 62%, notamment grâce au progrès technologique et à l'implémentation de normes sur les équipements de chauffage individuel.



## 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](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