

Airparif

dossier

Avril 2021
airparif.fr

02



Les particules

AIRPARIF SURVEILLE LES PARTICULES DANS L'AIR AMBIANT DEPUIS PLUS DE 40 ANS AFIN DE CONNAÎTRE LES NIVEAUX EN ÎLE-DE-FRANCE, D'IDENTIFIER LES SOURCES D'ÉMISSIONS, DE NOURRIR LES ÉTUDES D'IMPACT SANITAIRE ET D'ACCOMPAGNER LES DÉCIDEURS DANS LA MISE EN PLACE DE POLITIQUES EFFICACES D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR.

La pollution particulaire est une pollution complexe, aux sources multiples, et dont les impacts sanitaires sur les populations exposées provoquent des inquiétudes grandissantes. Elle pose également des enjeux juridiques, puisque le gouvernement français est en contentieux avec le Conseil d'État, mais aussi avec l'Union Européenne

pour non-respect chronique des valeurs limites, notamment pour les particules. De la composition chimique des particules en passant par leurs sources d'émission, leurs effets sur la santé, les liens avec le changement climatique et les outils de surveillance, cet Airparif Dossier a pour objectif de donner aux citoyens les clés de compréhension nécessaires.

Définitions

Polluants gazeux, polluants particulaires

Parmi les polluants de l'air, on distingue les polluants gazeux (comme l'ozone ou le dioxyde d'azote) et les polluants particulaires, qui sont un mélange de composés solides et/ou liquides, en suspension dans un milieu gazeux. Ces polluants particulaires sont parfois désignés sous le nom d'aérosols, notion qui inclut à la fois les particules et le gaz dans lequel elles se trouvent en suspension.

Les particules

Contrairement aux polluants gazeux, les particules ne constituent pas une espèce chimique unique, mais sont constituées d'une grande diversité de composés, plus ou moins toxiques, et qui diffèrent selon leurs sources d'émission. Les particules sont également de taille très diverse : celle-ci varie sur près de six ordres de

grandeur, de quelques fractions de nanomètres à une centaine de micromètres. Cette grande variabilité de taille et de composition chimique est un facteur essentiel pour évaluer leurs impacts sanitaires et en fait un polluant particulièrement complexe à caractériser dans l'air ambiant.

Particules primaires et particules secondaires

Les particules primaires sont directement émises dans l'atmosphère, que ce soit par les activités humaines (transport, chauffage, industrie...) ou par des sources naturelles (volcans, sable de désert, feux de forêt, sels marins...). Les particules secondaires, elles, ne sont pas émises directement, mais sont le résultat de réactions physico-chimiques dans l'atmosphère, à partir de polluants gazeux tels que le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), l'ammoniac (NH₃) ou encore les Composés Organiques Volatiles (COV).

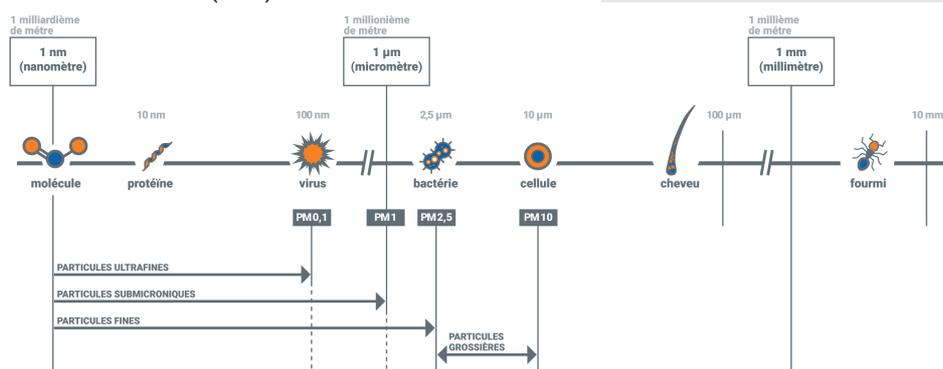
LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES

La composition chimique des particules est complexe et comprend deux grands types de composés : les composés organiques et les composés inorganiques.

La fraction inorganique des particules peut être primaire ou secondaire. Les particules minérales, émises par exemple par l'érosion des sols, ou les particules métalliques, provenant par exemple de l'usure des plaquettes de frein, sont des particules primaires et inorganiques. Une grande part des particules est aussi composée d'espèces inorganiques secondaires, formées à partir de précurseurs gazeux. Il s'agit en majorité du nitrate et du sulfate d'ammonium, formés à partir de réactions chimiques entre le NO₂, le SO₂ et le NH₃. Ces composés inorganiques secondaires représentent une part importante des particules.

La fraction organique des particules est formée de carbone élémentaire (ou carbone suie) et de carbone organique. Cette fraction organique est émise principalement lors de la combustion. Plus une combustion est complète (par exemple, en sortie de pot d'échappement), plus elle émet de carbone élémentaire ; plus une combustion est incomplète (par exemple, feux de bois en foyer ouvert), plus elle émet de carbone organique. La matière organique comprend de nombreux composés, dont les dioxines, les furanes et les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), et est à la fois d'origine primaire et secondaire.

L'étude de la composition chimique des particules permet de remonter à leur origine géographique (locale ou longue distance) et à leurs sources principales. C'est donc un appui essentiel à la mise en place de politiques publiques efficaces et ciblées pour lutter contre la pollution particulaire.



L'IMPACT SANITAIRE DES PARTICULES

L'IMPACT SANITAIRE DES PARTICULES EST ÉTROITEMENT LIÉ À LEUR TAILLE ET À LEUR COMPOSITION CHIMIQUE, ET DONC À LEUR SOURCE (AVIS DE L'ANSES, JUILLET 2019). POUR EN SAVOIR PLUS, LA PAROLE EST À BÉNÉDICTE JACQUEMIN, CHERCHEUSE À L'INSERM/IRSET, ET BRUNO HOUSSET, PRÉSIDENT DE LA FONDATION DU SOUFFLE.

Quel est l'impact de l'exposition aux particules fines sur la santé humaine, sur le court et le long terme ?

Bruno Housset (B.H.) : À court terme, l'exposition aux particules se traduit par des symptômes respiratoires résultant de l'effet oxydant de la pollution, et par l'exacerbation de maladies respiratoires chroniques telles que l'asthme ou la bronchopneumopathie chronique obstructive. Les pics de pollution sont aussi associés à une majoration des accidents cardiovasculaires (arrêt cardiaque, infarctus, AVC) et favorisent la décompensation du diabète. L'exposition à court-terme entraîne ainsi une augmentation de la mortalité et des hospitalisations pour causes respiratoires et cardiovasculaires. Enfin, elle est associée à une plus grande fréquence d'infections respiratoires virales, notamment chez l'enfant. Cela a été confirmé à l'occasion de la pandémie de COVID-19, pendant laquelle des niveaux élevés de pollution particulaire ont été associés à une plus grande fréquence et à une sévérité plus marquée de l'infection.

Bénédicte Jacquemin (B.J.) : À long terme, une exposition chronique, c'est-à-dire quotidienne, aux particules, même à des niveaux relativement bas, a un impact sanitaire sur pratiquement tous les organes et systèmes du corps humain : augmentation de la mortalité pour causes respiratoires et cardiovasculaires ; et augmentation de la morbidité respiratoire (en particulier chez les enfants) et cardiovasculaire. L'exposition à long terme est également associée à des impacts périnataux (augmentation des petits poids de naissance, probabilité augmentée de naissances prématurées) ainsi qu'à des impacts sur la reproduction. Des effets ont également été étudiés sur la cognition et le cerveau. Enfin, l'effet cancérigène de la pollution de l'air, et en particulier des particules, est bien documenté. En 2013 le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) l'a classifiée comme cancérigène de type 1 (avéré), en particulier pour l'incidence de cancers du poumon, mais également de la vessie et du sein. En France et plus généralement dans les pays du Nord, l'impact sanitaire de la pollution de l'air est principalement lié à l'exposition chronique.

Cet impact est-il différencié en fonction des sources et de la composition chimique des particules ?

B.J. : En l'état actuel des connaissances, les particules identifiées comme étant les plus toxiques pour la santé humaine sont celles comportant du carbone suie et certains métaux lourds.

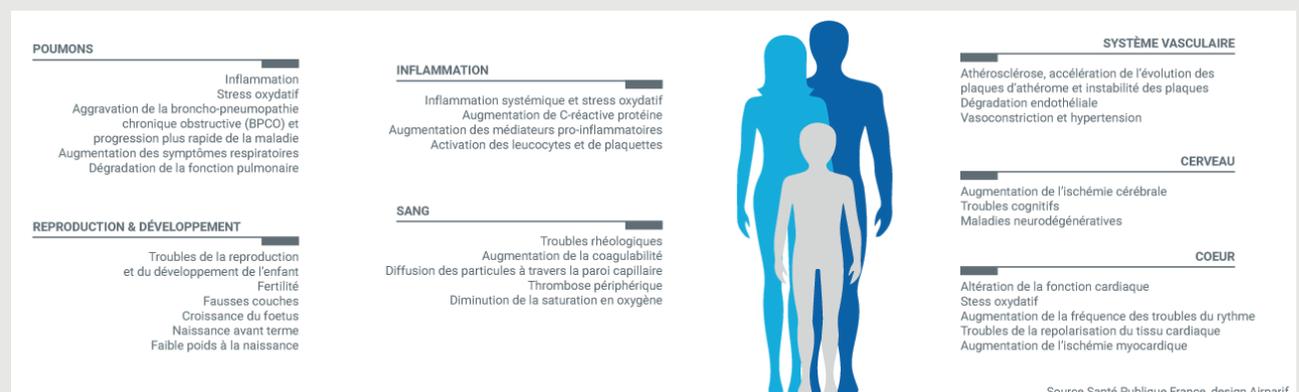
Les sources d'émissions les plus problématiques d'un point de vue sanitaire sont donc la combustion et le trafic automobile. En ce qui concerne la combustion de biomasse (chauffage au bois), l'impact sanitaire est bien documenté en air intérieur, mais moins en air extérieur – des recherches complémentaires sont nécessaires à ce sujet. Enfin, les sources industrielles sont moins problématiques en France, dans un contexte de désindustrialisation et où les émissions sont très contrôlées.

B.H. : La source et la nature des particules fines influent sur leur toxicité. Par exemple, les particules issues d'une tempête de sable sont irritantes, mais n'auront pas à long terme les mêmes effets sanitaires que les particules issues de moteurs Diesel, bien plus toxiques. En effet ces particules ont un rôle de vecteur et peuvent transporter des métaux lourds, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (substances cancérigènes), ou encore des pollens (sources de manifestations allergiques respiratoires). Au-delà de la question de la taille des particules, il faut aussi s'intéresser à leur composition chimique, qui permet d'étudier le pouvoir oxydant des particules, indicateur important en épidémiologie. Par exemple, le fort pouvoir oxydant des particules issues de l'abrasion des freins et des pneus interroge sur le fait de pouvoir considérer la voiture électrique comme une solution complète à la pollution issue du trafic routier, car une voiture, même sans combustion, émet des particules liées à l'abrasion.

Selon vous, quels sont les nouveaux enjeux sanitaires liés à la pollution particulaire qui sont en train d'émerger ?

B.J. : Pour mettre en place des politiques publiques efficaces, il est nécessaire d'investiguer l'impact sanitaire de chacun des composés de la pollution de l'air. La grande difficulté est, qu'en conditions réelles, on est toujours exposé à un mélange de polluants. Il est donc complexe de caractériser précisément l'exposition des populations. De plus, l'interaction de ces différents polluants entre eux (ou « effet cocktail ») est mal connue, et pourrait potentiellement démultiplier la toxicité de la pollution.

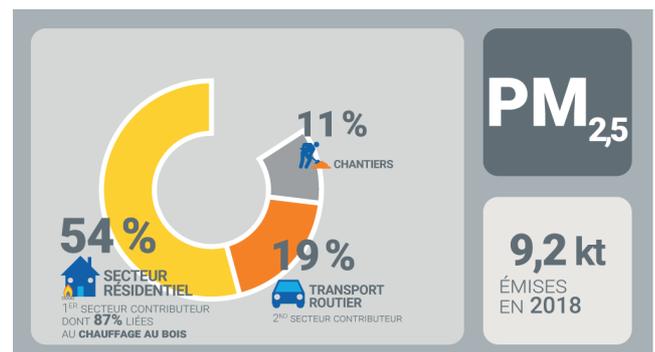
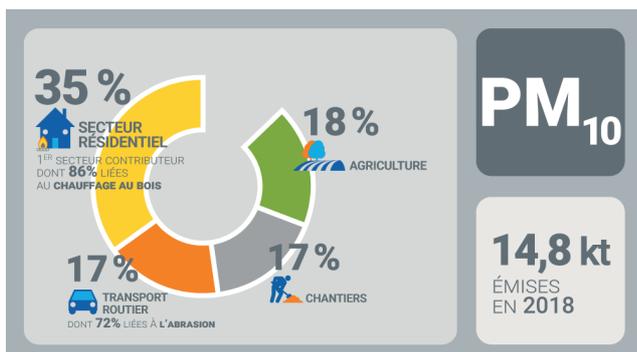
B.H. : En ce qui concerne les particules ultrafines (PUF), il y a de plus en plus d'évidence de leurs effets nocifs, ce qui est cohérent avec leurs caractéristiques physico-chimiques. Pour l'instant, l'enjeu est avant tout d'en améliorer la mesure dans l'air ambiant afin d'affiner la connaissance de ce polluant et de ses impacts sanitaires.



Les sources de particules en Île-de-France

Les sources de particules primaires sont calculées tous les ans par Airparif dans l'inventaire des émissions. Le secteur résidentiel, le trafic routier et, dans une moindre mesure l'agriculture et les chantiers, sont les principales sources de particules primaires en Île-de-France.

Les activités de combustion (trafic routier, chauffage) émettent principalement des particules fines et très fines ($PM_{2,5}$ et PM_{10}), tandis que les secteurs des chantiers et carrières, ainsi que l'abrasion des freins, pneus et routes liée au trafic routier, émettent surtout des particules grossières (PM_{10}).



L'inventaire des émissions permet de connaître avec précision les sources d'émissions des particules primaires, mais il ne permet pas de représenter la contribution des sources des particules secondaires, formées à partir de précurseurs gazeux : NH_3 , NO_2 , SO_2 et COV. Or, la composition chimique des particules montre une forte proportion de composés secondaires. Ainsi, les composés inorganiques secondaires (nitrate,

ammonium et sulfate additionnés) constituent en moyenne 40% de la masse totale des particules en milieu urbain.

Les précurseurs gazeux des composés organiques secondaires sont les COV, émis aussi bien par des sources anthropiques (industrie, secteur résidentiel, trafic routier, chantiers) que par des sources naturelles (23%).



LES PARTICULES ISSUES DU CHAUFFAGE AU BOIS

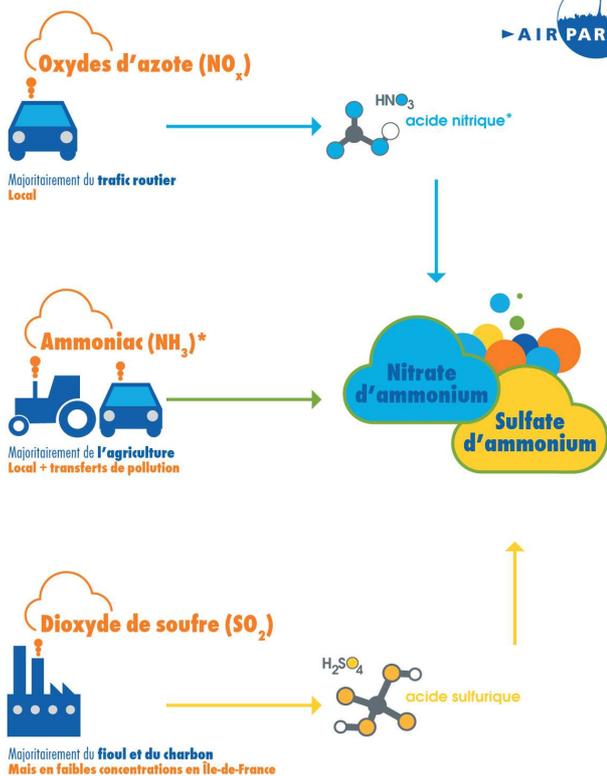
ZOOM SUR

Le chauffage au bois est un contributeur majeur des émissions de particules en Île-de-France : il est responsable de 87% des émissions de $PM_{2,5}$ liées au secteur résidentiel, alors qu'il ne couvre que 5% des besoins d'énergie de ce secteur. La source chauffage au bois est régulièrement responsable d'épisodes de pollution liés aux particules pendant la période hivernale.

LES PARTICULES ISSUES DE L'ABRASION

Si les améliorations technologiques des dernières années ont permis de faire baisser les émissions de particules à l'échappement des véhicules (combustion), les émissions de particules liées à l'abrasion (freins, pneus et routes) ne connaissent pas de baisse, et représentent aujourd'hui 72% des émissions de PM_{10} du trafic. Le renouvellement technologique du parc roulant vers des véhicules moins émetteurs, voire des véhicules électriques, ne permettra pas de faire baisser cette fraction des émissions de particules liées à l'abrasion.

L'AMMONIAC : SOURCES ET ENJEUX



* composés sur lesquels des actions de réduction sont à privilégier

Le nitrate et le sulfate d'ammonium sont formés lors de l'association de l'ammoniac avec le NO_2 et le SO_2 .

En Île-de-France, 82% des émissions d'ammoniac proviennent de l'agriculture et 15% du trafic routier.

L'agriculture contribue très fortement aux émissions d'ammoniac, principalement pendant les périodes d'épandage d'engrais. La source agricole contribue ainsi fortement aux épisodes de pollution au printemps.

Par ailleurs, des études récentes mettent en évidence un impact significatif du trafic routier sur les niveaux de NH_3 mesurés en zone urbaine, et ce tout au long de l'année.

L'utilisation d'urée dans les pots catalytiques des véhicules de nouvelle génération, qui vise à limiter les émissions de NO_x , pourrait engendrer une augmentation des émissions d'ammoniac. Le trafic est donc une source significative de particules secondaires sur l'agglomération parisienne.

Les épisodes de pollution aux particules

Le nombre d'épisodes de pollution particulaire est très variable d'une année à l'autre. La qualité de l'air dépend en effet de l'intensité des émissions polluantes, mais également des conditions météorologiques qui conditionnent notamment la dispersion ou l'accumulation des polluants dans l'atmosphère. Les épisodes de pollution particulaire surviennent le plus généralement en période hivernale et printanière.

Les épisodes hivernaux, de combustion, se caractérisent par une hausse des émissions locales liées au trafic routier et au chauffage

(en particulier le chauffage au bois), qui s'accumulent sous l'effet de conditions météorologiques peu dispersives (vents faibles, faible hauteur de couche de mélange). Des épisodes hivernaux multi-sources peuvent également avoir lieu. Aux sources de combustion locales peuvent alors s'ajouter des sources externes (épandages précoces, transport longue distance...).

Les épisodes printaniers, multi-sources, résultent de l'accumulation de particules émises localement (trafic, chauffage) auxquelles viennent s'ajouter des particules secondaires dont la formation est favorisée par les très fortes concentrations d'ammoniac dans

LES PARTICULES ULTRAFINES (PUF), DES POLLUANTS ÉMERGENTS DONT L'IMPACT SANITAIRE INQUIÈTE

En 2018, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire et Alimentaire) recommandait de surveiller les PUF dans l'air ambiant, compte tenu de leurs enjeux potentiels en termes d'impact sanitaire. Depuis 2019, Airparif effectue un suivi en continu des PUF, ce qui permet de mettre en évidence la contribution importante du trafic routier dans les émissions de ces particules. Cette nouvelle surveillance est très prometteuse pour l'amélioration des connaissances des particules tant sur leur formation, leur coagulation (processus d'adhésion des particules entre elles) et leur accumulation, ainsi que pour la caractérisation de leurs sources respectives.

l'atmosphère, dues aux épandages d'engrais. Ces épisodes printaniers sont généralement observés à grande échelle, sur une partie de la France, voire de l'Europe.

L'ORIGINE GÉOGRAPHIQUE DES PARTICULES

ZOOM SUR

Les particules sont des polluants qui peuvent se déplacer sur de longues distances, sous l'action du vent. Lors d'une étude menée sur la station trafic située sur le Boulevard périphérique, Porte d'Auteuil, Airparif a déterminé que jusqu'à 40% des particules mesurées provenaient de l'import, c'est-à-dire qu'il s'agissait de particules émises ou produites hors de l'agglomération parisienne. Cette part importante de particules importées souligne le besoin d'actions coordonnées non seulement au niveau local, pour agir sur les 60% produits localement, mais aussi au niveau national et européen, pour améliorer la qualité de l'air.



Surveillance des particules par Airparif

Depuis sa création en 1979, Airparif assure la surveillance des particules, souvent en amont de l'existence de réglementations ou de recommandations sanitaires, et contribuant ainsi à leur mise en place.

La réglementation impose une surveillance des concentrations massiques de PM_{10} et de $PM_{2.5}$. Les précurseurs gazeux des particules (NO_2 , SO_2 et COV) sont également réglementés et surveillés depuis de nombreuses années. Le NH_3 ne fait l'objet d'aucune réglementation mais est surveillé par Airparif dans le but d'améliorer la compréhension sur les sources et les mécanismes de formation des particules sur la région.

La surveillance réglementaire ne suffisant pas à caractériser la pollution particulaire et à anticiper les problématiques émergentes, Airparif va au-delà, notamment en mesurant la composition chimique des particules et en surveillant les particules plus petites que les $PM_{2.5}$.

La composition chimique des particules permet d'identifier précisément leurs sources d'émissions, notamment en cas d'épisode de pollution, et ainsi de participer à la mise en œuvre d'actions ciblées pour réduire

la pollution. Le suivi en temps réel de la composition chimique des particules est réalisé depuis 2015 en Île-de-France à l'aide d'un « *Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM)* ». L'ACSM permet une mesure rapide des composantes chimiques majeures des particules que sont la matière organique (OM) et les ions nitrate (NO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}), ammonium (NH_4^+) et chlorure (Cl^-). Depuis son installation sur le réseau de surveillance de qualité de l'air, l'ACSM permet de caractériser la composition du niveau de fond des particules sur la région, en direct et en continu. Fin 2020, un deuxième ACSM a été installé à proximité du trafic routier.

Les progrès technologiques permettent également de mesurer plus précisément et en continu les particules carbonées appelées « *black carbon* » (BC) ou carbone suie, qui est un excellent traceur du trafic routier, et qui a un impact à la fois sanitaire et climatique.

Hormis le suivi de ces composés majeurs, Airparif assure également la surveillance de composés spécifiques, soit faisant l'objet d'une réglementation (HAP, métaux lourds), soit des polluants non encore réglementés dans l'air ambiant, mais posant des enjeux de toxicité, tels que les dioxines et les pesticides.

Après une surveillance par campagnes d'un mois depuis plus de 15 ans, le dispositif de surveillance d'Airparif a été renforcé par une mesure permanente des PUF fin 2019. Les particules submicroniques allant de 7 nm à 1000 nm sont mesurées toutes les cinq minutes. Des campagnes spécifiques autour des aéroports et le long du trafic se mettent en place pour mieux caractériser ces sources, conformément aux préconisations de l'ANSES.

L'IMPACT DES PARTICULES SUR LE CLIMAT

INTERVIEW DE SOPHIE SZOPA (GIEC).

L'impact des particules sur le climat est complexe et dépend de leur composition chimique et de leur taille. Les particules, ou aérosols, agissent différemment des gaz à effet de serre. Elles ont un effet direct sur le rayonnement solaire qui parvient depuis l'espace jusqu'à atteindre la surface terrestre. Cet effet peut être de refroidir ou de réchauffer le climat, en fonction du type d'aérosol.

Ainsi, une partie des aérosols, dits « *rétro-diffusants* », réfléchissent le rayonnement solaire vers l'espace, ce qui a pour effet de refroidir l'atmosphère (par rapport à ce qui se passerait en l'absence d'aérosols). C'est le cas par exemple des aérosols de type sulfates ou nitrates.

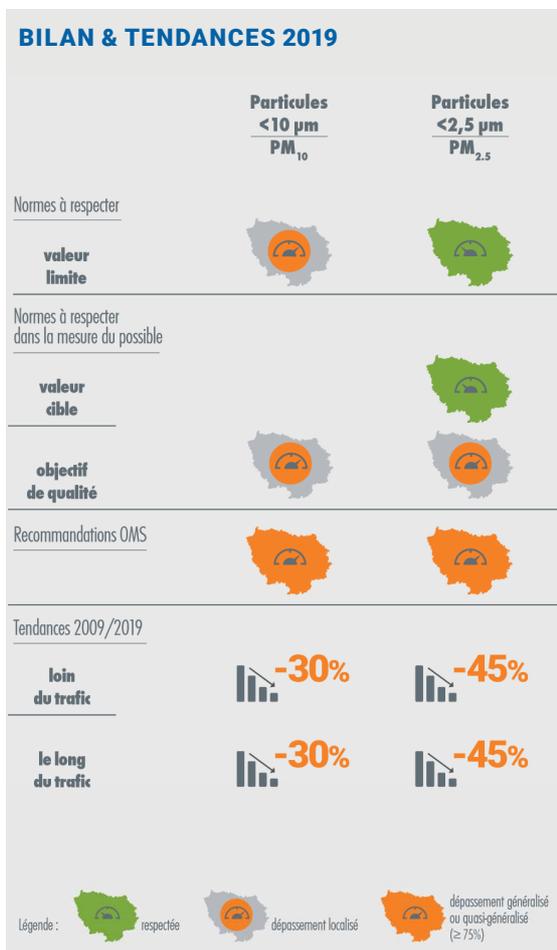
D'autres aérosols, dits « *absorbants* », comme les suies de combustion, absorbent au contraire une partie de l'énergie du rayonnement solaire, avec pour conséquence de réchauffer localement l'atmosphère là où ils se trouvent. Parce qu'ils sont absorbants, ces aérosols entraînent également une fonte de la neige ou de la glace lorsqu'ils se déposent sur de telles surfaces.

Enfin, les aérosols servent de noyaux de condensation pour les nuages, modifiant la taille et le nombre de gouttelettes, ce qui va avoir un impact sur les précipitations mais aussi sur la capacité des nuages à réfléchir le rayonnement solaire. Ces effets indirects, via les modifications des propriétés des nuages, sont complexes, mais résultent globalement en un refroidissement de l'atmosphère.

Concentrations et exposition des Franciliens

Les concentrations de particules en Île-de-France ont baissé sur la dernière décennie, grâce en particulier à la diminution des émissions du trafic routier liée à l'introduction progressive des filtres à particules sur les véhicules Diesel et à la réduction du trafic dans Paris intramuros. La baisse est plus importante pour les $PM_{2,5}$ (-45%) que pour les PM_{10} (-30%), car celles-ci contiennent plus de particules d'abrasion liée au trafic routier qui, contrairement aux émissions à l'échappement, n'ont pas été impactées par les progrès technologiques récents.

Cependant, les niveaux restent au-dessus des seuils réglementaires en Île-de-France : les valeurs limites, fixées par la directive européenne 2008/50/CE, sont dépassées pour les PM_{10} ; quant aux recommandations de l'OMS, qui n'ont pas de valeur contraignante mais qui reflètent l'état des connaissances sur l'impact sanitaire de la pollution, elles sont dépassées pour les PM_{10} comme pour les $PM_{2,5}$. En 2019, près de 75% des Franciliens étaient concernés par un dépassement des recommandations journalières de l'OMS pour les PM_{10} ; pour les $PM_{2,5}$, ce chiffre montait à presque 100%.

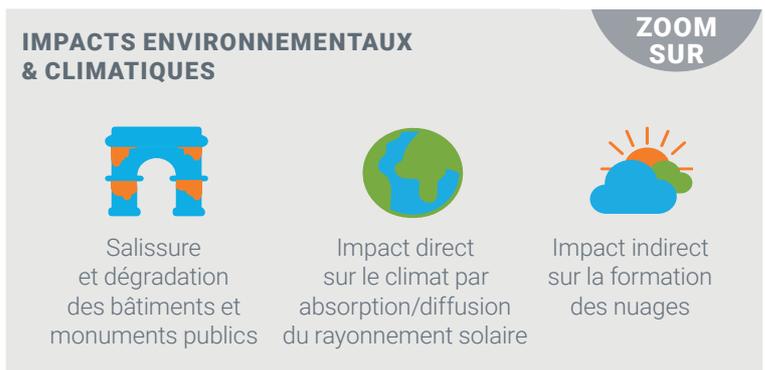


Comment Airparif accompagne les décideurs publics pour améliorer la qualité de l'air

Les sources de particules étant très diverses, les actions à mener pour réduire les émissions sont nécessairement multi-sectorielles : du secteur résidentiel en passant par le trafic routier, l'aménagement du territoire, la gestion des chantiers, l'industrie ou encore les pratiques agricoles. De nombreuses actions sont mises en place au niveau européen, national et local, et la pollution aux particules est en baisse en Île-de-France depuis plusieurs années. Cependant, les niveaux restent bien au-dessus de certaines valeurs limites et des seuils recommandés par l'OMS, et des polluants dits « émergents », comme les PUF, non encore réglementés dans l'air ambiant, provoquent de nouvelles inquiétudes sanitaires.

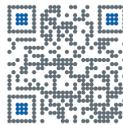
Parmi ses différentes missions, Airparif entend accompagner les décideurs dans l'élaboration et l'évaluation de politiques publiques d'amélioration de la qualité de l'air. À titre d'exemple, Airparif a lancé fin 2020 une étude visant à quantifier les gains d'émissions nécessaires, par zone géographique et par secteur d'activité, pour respecter les valeurs limites réglementaires et les recommandations de l'OMS à Paris et en Île-de-France. Les polluants considérés sont les particules PM_{10} et $PM_{2,5}$, ainsi que les oxydes d'azote (NO_x).

Cette étude proposera également différentes scénarisations avec évaluation des gains d'émissions pour les polluants atmosphériques considérés ainsi que pour les gaz à effet de serre (par exemple, quels seraient les gains d'émissions d'un scénario de renouvellement technologique complet du parc roulant, ou d'un scénario de baisse du trafic à parc roulant constant ?). Cette étude inclura les secteurs du trafic routier, du chauffage au bois et de l'agriculture, et a pour objectif d'accompagner les décideurs dans la mise en œuvre d'action ciblées et efficaces pour garantir aux Franciliens un air respectant les recommandations de l'OMS.



POUR ALLER PLUS LOIN

Scannez le QRcode pour pouvoir lire la brochure



GLOSSAIRE

COV : Composés Organiques Volatiles

NH₃ : Ammoniac

NO₂ : Dioxyde d'azote

NO_x : Oxydes d'azote

PM_{2,5} : Particules fines

PM₁₀ : Particules grossières

PUF : Particules ultrafines

SO₂ : Dioxyde de soufre

LE SAVIEZ-VOUS ?

L'impact du confinement du printemps 2020 sur les niveaux de pollution en Île-de-France a été plus limité sur les PM₁₀ (-7%) que sur le NO₂ (-27%). Cela s'explique par le fait que le NO₂ est principalement émis par le trafic routier, qui a été fortement impacté par les mesures de confinement, alors que les particules sont émises par de nombreuses sources (trafic routier, mais aussi chauffage résidentiel, agriculture, réactions chimiques dans l'atmosphère et transport sur de longues distances). De plus, les concentrations de particules sont très sensibles aux conditions météorologiques qui, surtout au début du confinement, étaient favorables à leur accumulation dans l'atmosphère. En revanche, l'impact du confinement sur les niveaux de PUF a été bien plus marqué, avec une baisse de -30% des concentrations. En effet, les PUF sont émises notamment par des phénomènes de combustion principalement liés au trafic routier et aérien, deux secteurs mis au ralenti pendant le confinement.

Association à but non lucratif, loi de 1901

7 rue Crillon 75004 PARIS / +33 1 44 59 47 64

www.airparif.fr



Directeur de la publication : Jean-Félix Bernard

Rédaction/coordination éditoriale & graphique :

Airparif

Crédits photo : Airparif

Airparif est une association cofinancée de manière équilibrée par des subventions de l'État, des collectivités territoriales et des acteurs économiques, et des missions d'expertise.

