Airparif
dossier
Novembre 2026
airparif.fr
#12



Particules ultrafines - Mieux connaître l'infiniment petit

AIRPARIF





EDITO

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 : Philippe Quénel
Directrice générale : Karine Léger
Directeur de la communication : Pierre Pernot
Rédactrice en chef : Camille Martin
Maquette et infographies : Stéphanie Fraincart
Crédits photo : S. Fraincart - Airparif
(toutes les illustrations sont sous licence CC BY-NC et disponibles sur demande avec le logo Airparif pour une utilisation externe à cette publication)

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

Pour leur contribution à ce dossier, Airparif tient à remercier Sylvain Billet, professeur de toxicologie à l'université du Littoral Côte d'Opale, Karine Sartelet, professeure et directrice de recherche à l'École nationale des ponts et chaussées, laboratoire CEREA, ainsi que Grégory Abbou et Alexia Baudic, ingénieurs d'études à Airparif.

Longtemps, la surveillance des particules dans l'air s'est principalement intéressée à leur masse. Les PM_{10} et les $PM_{2,5}$ sont ainsi mesurées en microgrammes par mètre cube d'air. Mais les particules les plus petites échappent en grande partie à cette approche : leur masse est infime alors qu'elles peuvent être extrêmement nombreuses.

C'est le cas des particules ultrafines, ou PUF, dont le diamètre est inférieur ou égal à 100 nanomètres. Leurs caractéristiques et leurs effets potentiels sur la santé en font depuis plusieurs années un sujet d'intérêt croissant pour la communauté scientifique et les organismes chargés de surveiller la qualité de l'air.

Airparif s'est engagée très tôt, en 2003, dans l'amélioration des connaissances sur ces particules. Une mesure permanente a été mise en place au cœur de Paris dès 2019, puis complétée par un programme pluriannuel de campagnes de mesure dans différents environnements franciliens : à distance des sources directes de pollution, à proximité du trafic routier ou encore autour de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle. L'objectif : comment les concentrations de PUF évoluent dans le temps et dans l'espace et quelles activités ou quels phénomènes contribuent à leur présence dans l'air.

Cette connaissance devient d'autant plus importante que la nouvelle directive européenne de 2024 sur la qualité de l'air introduit désormais des obligations de surveillance des PUF, sans fixer à ce stade de valeur limite.

Ce dossier fait le point sur ce que nous savons aujourd'hui, sur ce que les travaux menés en Île-de-France ont permis d'apprendre et sur les questions auxquelles la recherche et la surveillance devront encore répondre.

PEFC 10-32-3010 Certifié PEFC Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées

IMPRIM'VERT Votre imprimeur agit pour l'environnement

Que sont les particules ultrafines ?

Les particules ultrafines sont les plus petites particules surveillées dans l'air ambiant. Leur diamètre ne dépasse pas 100 nanomètres. Cette taille minuscule change la manière de les mesurer et oblige à regarder la pollution particulaire autrement.

Des particules de moins de 100 nanomètres

Les particules présentes dans l'air forment un ensemble extrêmement hétérogène. Elles se différencient par leur composition, leur origine, mais aussi par leur taille.

Les PM_{10} regroupent les particules dont le diamètre est inférieur ou égal à 10 micromètres (µm), les $PM_{2,5}$ celles dont le diamètre est inférieur ou égal à 2,5 µm. Les particules ultrafines, ou PUF, se situent encore plusieurs ordres de grandeur en dessous : leur diamètre est inférieur ou égal à 100 nanomètres (nm), soit 0,1 µm ($PM_{0,1}$). À titre de comparaison, 1 nm est égal à 1 milliardième de mètre.

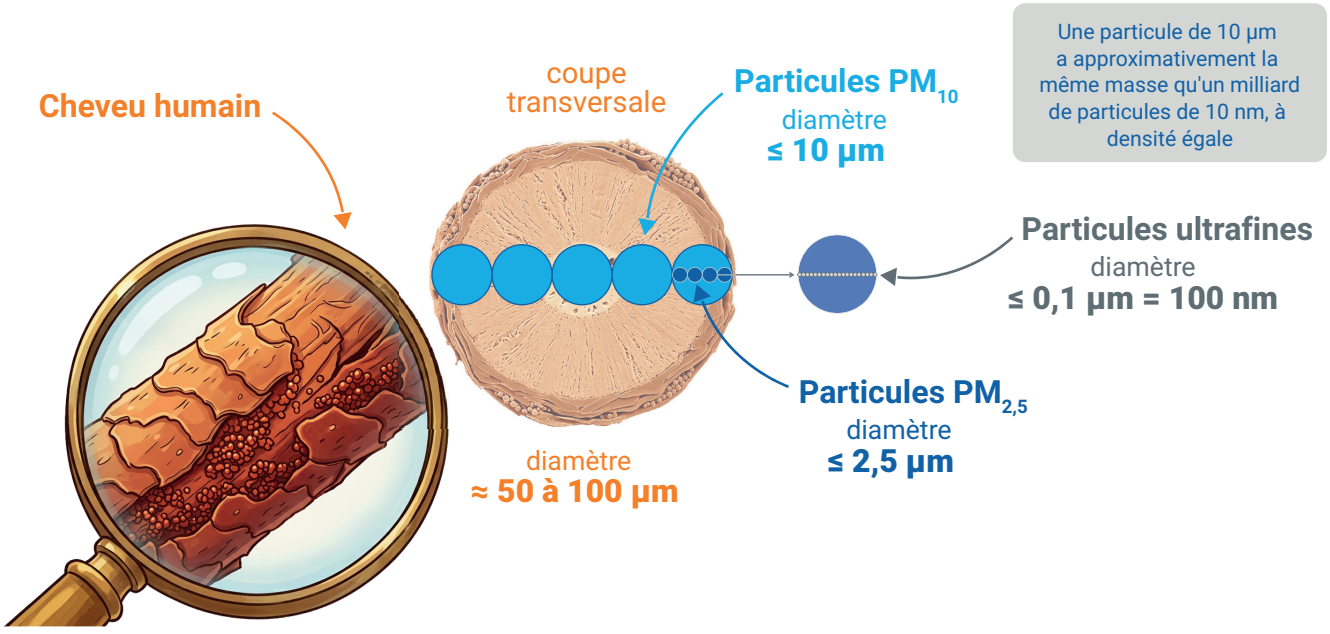
À cette échelle, le diamètre d'une PUF est donc au moins 100 fois plus petit que celui d'une particule de 10 µm.

Une très faible masse… mais un très grand nombre

Cette petite taille a une conséquence essentielle pour leur surveillance.

Les concentrations en PM_{10} et $PM_{2,5}$ sont traditionnellement exprimées en masse de particules par volume d'air, en microgrammes par mètre cube (µg/m³). Mais appliquer uniquement cet indicateur aux PUF donnerait une vision très incomplète de leur présence dans l'air.

En effet, leur masse individuelle est extrêmement faible. Elles contribuent donc peu à la masse totale des particules, tout en représentant une part très importante de leur nombre. En zone urbaine, les PUF peuvent ainsi représenter près de 90 % du nombre total de particules, alors qu'elles ne constituent qu'une très faible part de leur masse. C'est pourquoi leur surveillance repose notamment sur un autre indicateur : le nombre de particules présentes dans un volume d'air, généralement exprimé en particules par centimètre cube (part./cm³).



Une particule de 10 µm a approximativement la même masse qu'un milliard de particules de 10 nm, à densité égale

Pourquoi s'intéresse-t-on aux particules ultrafines ?

Leur taille minuscule ne rend pas les PUF anodines. Au contraire : leurs propriétés particulières, leur très grand nombre dans l'air et leur capacité à pénétrer profondément dans l'organisme expliquent l'intérêt croissant que leur portent scientifiques, autorités sanitaires et organismes de surveillance de la qualité de l'air..

Petites par la taille, spécifiques par leurs propriétés

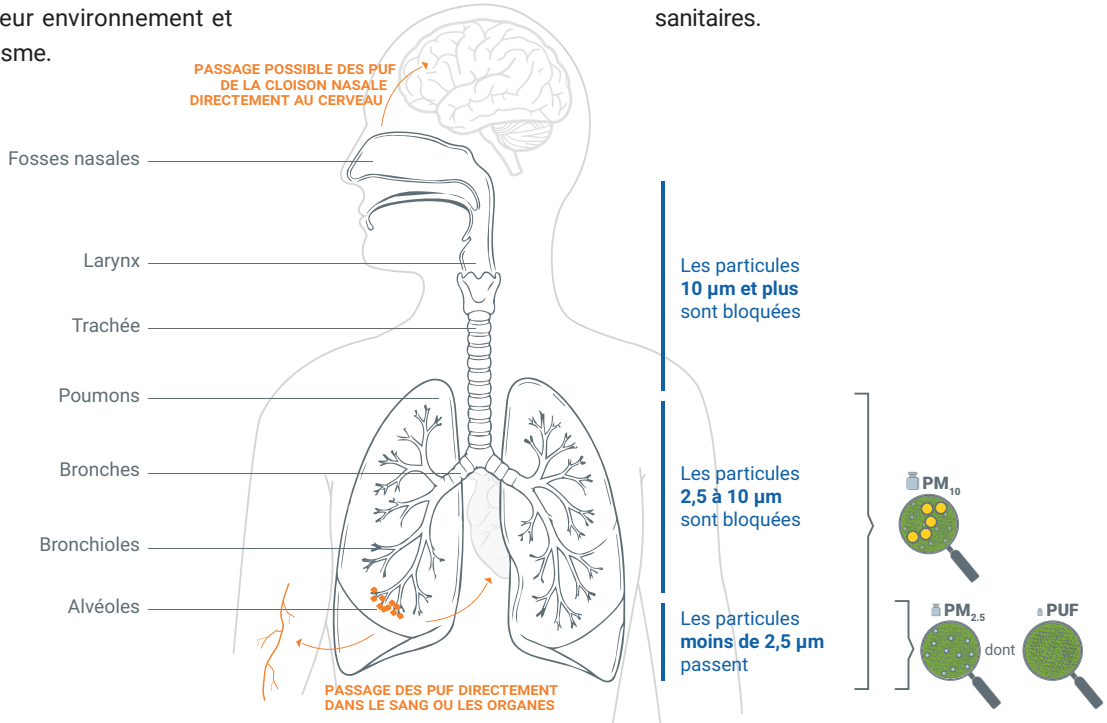
Les PUF ne constituent pas simplement une version miniature des particules plus grosses. À l'échelle nanométrique, certaines de leurs propriétés physiques et chimiques deviennent particulièrement importantes.

Parce qu'elles sont extrêmement petites, elles représentent collectivement une surface de contact importante par rapport à leur masse. Elles peuvent donc capter une plus grande quantité de polluants gazeux pouvant générer un stress oxydatif et favoriser les interactions avec leur environnement et avec l'organisme.

Leur taille joue également sur leur comportement dans l'atmosphère. Les PUF fraîchement émises ou formées par conversion de gaz en particules peuvent évoluer rapidement : elles coagulent entre elles, grossissent par condensation de composés présents dans l'air, se déplacent ou disparaissent en se déposant sur d'autres surfaces. Le nombre et la taille des PUF observées en un lieu donné peuvent ainsi varier fortement dans le temps et dans l'espace. Cette variabilité spatiale, saisonnière et liée aux sources constitue l'un des principaux enjeux de connaissance.

Jusqu'où peuvent-elles pénétrer dans l'organisme ?

La taille des particules influence leur pénétration dans l'appareil respiratoire. Plus elles sont petites, plus elles peuvent atteindre les régions profondes des poumons, les alvéoles pulmonaires. Les travaux scientifiques disponibles montrent également qu'une partie des particules ultrafines inhalées ou de leurs constituants peut franchir certaines barrières biologiques, traverser la circulation sanguine et atteindre des organes sensibles comme le cerveau. Cette capacité explique en partie l'attention particulière portée à leurs effets sanitaires.



Des particules issues de nombreuses sources

Les PUF peuvent être directement rejetées dans l'air par différentes activités humaines, notamment celles impliquant des procédés de combustion. Mais elles peuvent aussi se former dans l'atmosphère à la suite de réactions physico-chimiques impliquant des composés gazeux. Identifier ces sources et ces processus de formation est indispensable pour comprendre les niveaux mesurés et, à terme, déterminer les leviers permettant de les réduire.

Des PUF directement émises dans l'air

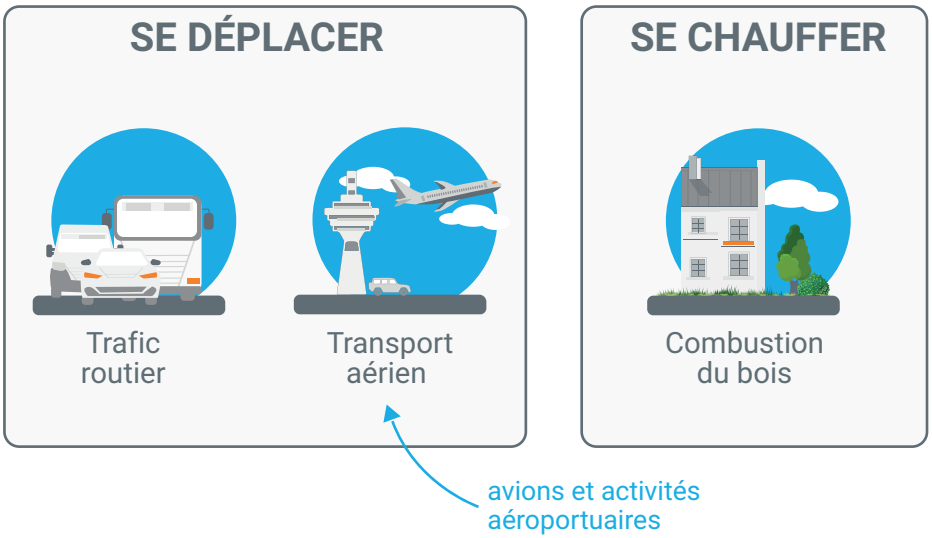
Certaines particules ultrafines sont rejetées directement dans l'atmosphère. On parle alors de particules primaires.

Les processus de combustion constituent une source importante de PUF. Que ce soit le trafic routier, le chauffage résidentiel au bois ou encore les activités aériennes, la littérature scientifique reconnaît ces secteurs comme étant des sources primaires importantes de particules ultrafines.

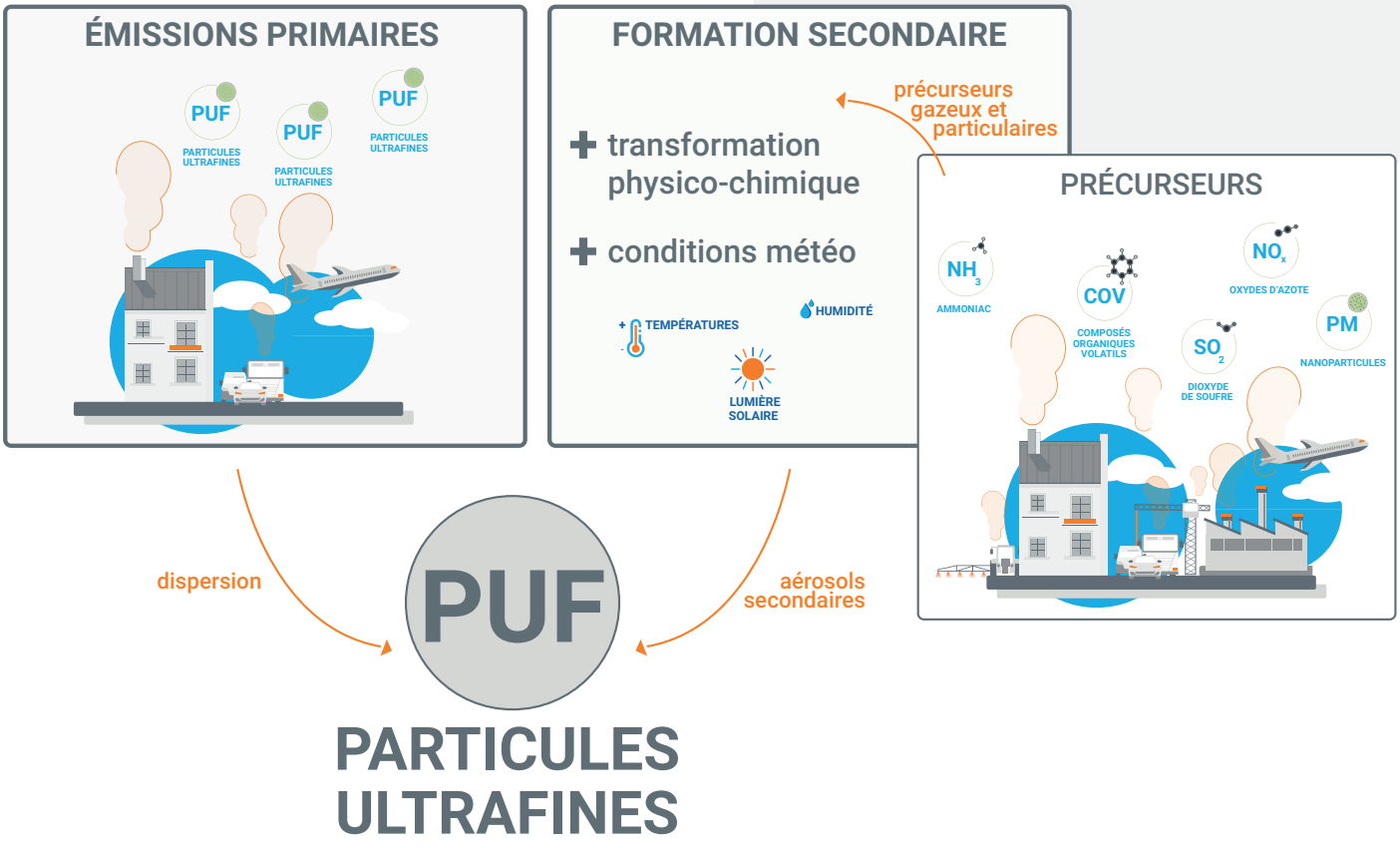
Ces différentes sources ne produisent pas nécessairement les mêmes particules ultrafines. Leur distribution en taille, leur composition chimique et leur évolution dans le temps constituent autant d'indices permettant d'en rechercher l'origine.

Les travaux d'Airparif identifient par exemple une signature dominante entre 10 et 30 nm pour le trafic routier, tandis que le chauffage au bois est associé à des particules plus grandes, entre 70 et 130 nm.

Les PUF peuvent aussi être émises par certaines activités industrielles et dans l'air intérieur par la cuisson des aliments



DEUX FAÇONS DE **RETROUVER DES PUF** DANS L'AIR



Des particules qui peuvent aussi se former dans l'air

Toutes les PUF présentes dans l'air ne sortent pas directement d'un pot d'échappement, d'une cheminée ou d'un réacteur d'avion.

Certaines se forment directement dans l'atmosphère à partir de composés gazeux (dont les composés organiques volatils, les oxydes d'azote, l'ammoniac). Ces gaz, appelés précurseurs, subissent des transformations physico-chimiques qui peuvent conduire à la formation de nouvelles particules : c'est notamment le phénomène de nucléation, par conversion de gaz en particules.

Une fois formées, ces particules peuvent évoluer : des composés gazeux se condensent à leur surface et les font grossir ; elles peuvent également s'agréger entre elles.

Ces processus dépendent notamment des composés présents dans l'atmosphère, des conditions météorologiques et d'un phénomène d'oxydation. Leur implication dans les niveaux de PUF constitue encore aujourd'hui un sujet de recherche.

Pour les PUF, compter plutôt que peser

Un microgramme de particules peut contenir quelques grosses particules ou des millions de particules minuscules. Pour surveiller les PUF, leur masse ne suffit donc pas : il faut les compter, mais aussi connaître leur taille.

Mesurer une concentration en nombre

Pour les PM_{10} et les $PM_{2,5}$, la réglementation s'appuie principalement sur une concentration massique, exprimée en µg/m³.

Pour les PUF, cette approche est peu adaptée : chaque particule pèse extrêmement peu. On s'intéresse donc à la concentration en nombre, exprimée en nombre de particules par centimètre cube d'air (part./cm³). Un compteur à noyau de condensation (CNC) mesure le nombre total de particules présentes dans une gamme de tailles donnée de 10 nm à quelques µm.

Connaître la taille pour remonter aux sources

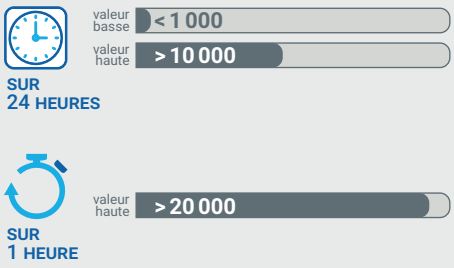
Les instruments utilisés par Airparif permettent également d'étudier la distribution granulométrique : autrement dit, combien de particules sont présentes dans chaque classe de taille selon la gamme de mesure définie. De telles mesures sont rendues possibles grâce aux spectromètres granulomètres à mobilité électrique (de type SMPS).

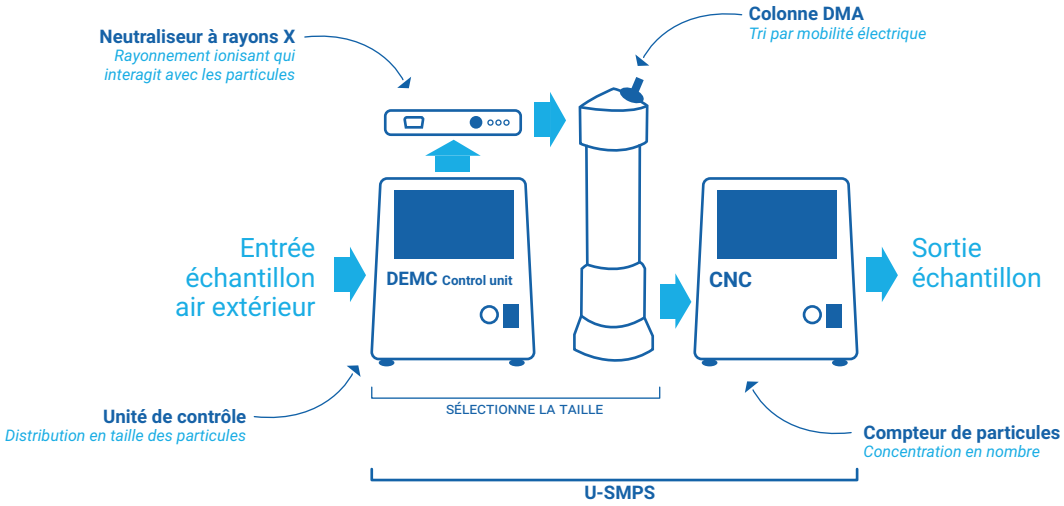
Cette information est essentielle car les différentes sources n'ont pas les mêmes signatures. Elle peut être croisée avec d'autres mesures — carbone suie, oxydes d'azote ou composition chimique des aérosols, par exemple — afin de mieux identifier les sources d'émission ainsi que les phénomènes à l'origine des concentrations observées. Le protocole scientifique associé aux campagnes combine ainsi mesures de concentration en masse, en nombre, distribution par taille, composition chimique et co-polluants.

REPÈRES DE L'OMS

L'Organisation mondiale de la santé propose, dans un relevé des bonnes pratiques, des niveaux indicatifs pour les concentrations en nombre de PUF. Ces niveaux ne peuvent pas être rattachés à de potentiels effets sur la santé et ne sont pas des valeurs limites réglementaires, mais des repères pour guider les décisions sur les priorités de contrôle des sources d'émission de PUF.

CONCENTRATION MOYENNE EN NOMBRE DE PUF (en part./cm³)





PAROLE D'EXPERT

Particules ultrafines : Airparif prend les devants



Depuis 2019, Airparif développe une surveillance continue des particules ultrafines, une anticipation arrivée bien avant les obligations réglementaires européennes. Grégory Abbou, ingénieur d'études à Airparif, revient sur les étapes de cet engagement et sur les objectifs d'un programme de mesure inédit en Île-de-France.

Un polluant qui échappe aux mesures habituelles

Les particules ultrafines (PUF) suscitent depuis plusieurs années un intérêt croissant en raison de leurs effets potentiels sur la santé. Pourtant, elles restent peu représentées dans les mesures réglementaires de particules, qui reposent sur leur masse. Les PUF pèsent très peu, mais sont extrêmement nombreuses : en milieu urbain, elles représentent près de 90 % du nombre total de particules.

Face à cet enjeu, nous avons choisi d'anticiper leur surveillance, sans attendre qu'elle devienne obligatoire.

Dès 2019, une première mesure permanente

En 2003, nous lançons nos premières mesures exploratoires de PUF à la station urbaine de Gennevilliers en collaboration avec le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air.

Fin 2019, avec le soutien de la Région Île-de-France, Airparif installe un appareil de mesure permanent dans son super-site de Paris 1er Les Halles. L'objectif : suivre en continu et à haute résolution temporelle (toutes les 5 minutes) les concentrations en nombre total et par classe de taille les PUF présentes dans l'air parisien et observer leurs variations au fil du temps.

Cette première étape nous permet de constituer une base de connaissances sur plusieurs années, notamment l'obtention de niveaux de référence en nombre de PUF au centre de Paris qui peuvent être comparés aux repères indicatifs de l'OMS, mais également à des niveaux (inter) nationaux à typologies de site comparables. Les résultats de cette surveillance ont notamment fait l'objet d'une publication scientifique en 2024.

Cinq années pour élargir les connaissances

Mais une seule station ne peut pas représenter toute la diversité des situations franciliennes. Avec nos partenaires, la métropole du Grand Paris, la Ville de Paris, la communauté d'agglomération Paris-Saclay, l'Agence régionale de santé Île-de-France, Groupe ADP, nous lançons donc en 2020 un programme d'intérêt général de cinq années de campagnes de mesure dans différents environnements : en situation de fond (c'est-à-dire éloignée de toute source directe de pollution), à proximité du trafic routier et autour de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle.

Notre ambition est double : comprendre comment les concentrations varient selon les lieux et les saisons, mais aussi mieux identifier les sources à l'origine des PUF. Sur le long terme, il s'agit aussi d'acquérir des données pour alimenter les études sanitaires et épidémiologiques.

Ces travaux permettent de préparer une surveillance adaptée aux spécificités du territoire francilien, alors que la nouvelle directive européenne prévoit leur surveillance réglementaire à partir de fin 2026.

Après plusieurs années d'expérimentation, l'enjeu est désormais de transformer les connaissances acquises en une surveillance durable et plus représentative de l'exposition de la population d'Île-de-France.

PAROLE D'EXPERT

PUF et santé : où en sont les connaissances ?



Quels sont les effets des particules ultrafines sur notre santé ? Cette question est notamment au cœur du projet de recherche Air2Vi, lancé en 2025 avec la participation d'Airparif et de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae), qui étudie leur influence sur la vulnérabilité des jeunes enfants et des personnes âgées aux infections respiratoires virales, notamment le virus respiratoire syncytial (VRS). Avec un regard global sur leurs effets, Sylvain Billet, professeur de toxicologie à l'Université du Littoral Côte d'Opale et expert auprès de l'Anses, décrypte les connaissances scientifiques et les questions qui restent à explorer.

Des particules capables de franchir certaines barrières biologiques

Les particules ultrafines (PUF) suscitent une attention spéciale en raison de leur très petite taille. Respirées quotidiennement en grand nombre, elles peuvent pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire, jusqu'aux alvéoles pulmonaires.

Mais leur spécificité réside aussi dans leur capacité à franchir certaines barrières biologiques. « Des études montrent que certaines peuvent traverser la barrière alvéolo-capillaire et donc passer dans le sang, puis, à partir du sang, traverser la barrière hémato-encéphalique et donc rejoindre le cerveau », explique Sylvain Billet. Le placenta, qui est censé protéger et filtrer les échanges entre la mère et le fœtus, constitue également une barrière susceptible d'être franchie.

Une autre particularité est leur surface spécifique. « Leur très petite taille leur confère une surface spécifique élevée, c'est-à-dire une plus grande surface réelle pour une même masse de particules. En toxicologie, c'est une donnée importante, car c'est par là que les particules entrent en contact avec les cellules. Et plus il y aura de surface potentiellement en contact, plus il pourra y avoir des interactions avec les cellules. »

Des effets cardiovasculaires et respiratoires bien documentés

Les études épidémiologiques associent l'exposition aux PUF à plusieurs effets sanitaires. Les plus documentés concernent les systèmes cardiovasculaire et respiratoire.

« À court terme, des effets ont été observés en termes de mortalité cardiovasculaire, par les infarctus notamment, ou des accidents vasculaires cérébraux. Sur le plan respiratoire, des épisodes de pollution peuvent être associés à une aggravation de l'asthme ou de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) », souligne le toxicologue. À plus long terme, des études ont montré un lien entre exposition aux PUF et l'apparition de l'asthme chez l'enfant.

D'autres effets sont étudiés, notamment au niveau métabolique, avec le diabète, l'obésité, sur le développement neurologique des enfants aussi ou encore la grossesse. Les niveaux de preuve restent toutefois variables selon les pathologies.

Toutes les particules ultrafines présentent-elles les mêmes risques ?

Leur taille ne suffit pas à déterminer leur toxicité. « En toxicologie, ce qui nous intéresse, c'est aussi la composition chimique des particules. En fonction de leur origine, leur composition est différente et leur surface spécifique peut l'être aussi, amenant des interactions plus ou moins importantes avec les tissus. » Est-ce que ça va entraîner un risque différent pour la santé ? « C'est fort probable », estime Sylvain Billet. Des particules issues du trafic routier, du chauffage ou formées dans l'atmosphère n'ont pas nécessairement les mêmes caractéristiques. Il existe des différences. Par exemple, une teneur élevée des PUF en composés organiques est capable d'induire des oxydations de l'ADN. Ce domaine de recherche reste à approfondir.

Des connaissances à consolider pour mieux évaluer les risques

Deux difficultés majeures subsistent pour permettre de définir une valeur limite réglementaire, comme c'est le cas pour les autres particules PM_{10} et $PM_{2,5}$. D'abord, compléter la caractérisation des PUF en prenant en compte leur composition chimique. Ensuite, établir précisément les risques sanitaires qui leur sont propres.

« Les maladies sont multifactorielles. La crise cardiaque, l'asthme, la BPCO, ce n'est pas spécifique aux PUF », précise le toxicologue. Les populations sont en effet exposées simultanément à plusieurs polluants, souvent associés aux mêmes maladies.

Les travaux récents de l'Anses sur l'élaboration de valeurs toxicologiques de référence pour les PUF constituent une avancée pour mieux quantifier ces risques.

« Pour progresser, il faudra notamment harmoniser les mesures, mieux caractériser l'exposition réelle des populations sur du long terme et approfondir les connaissances sur la composition des PUF et leurs effets sanitaires », conclut Sylvain Billet.

PAROLE D'EXPERT

Particules ultrafines : comment mieux les surveiller demain ?


Alexia Baudic

Comment améliorer la surveillance des particules ultrafines (PUF) et mieux comprendre notre exposition ? Alexia Baudic, ingénieure d'études à Airparif, et Karine Sartelet, professeure et directrice de recherche au laboratoire CEREA de l'École nationale des ponts et chaussées, croisent leurs regards sur les avancées scientifiques et les défis à relever.


Karine Sartelet

Quels sont les principaux défis pour mesurer les PUF ?

Alexia Baudic - Un des défis majeurs, c'est de pouvoir passer d'une mesure réalisée dans des environnements très contrôlés, notamment en laboratoire, à une mesure opérationnelle, directement sur le terrain, en garantissant des résultats fiables. Pour cela, Airparif utilise des instruments complémentaires : certains comptent les particules, d'autres renseignent sur leur taille. Il faut aussi assurer une vérification continuelle des instruments et développer des outils pour exploiter les nombreuses données produites.

Pourquoi est-il important de connaître la taille des particules et pas seulement leur nombre ?

A. B. - Le comptage en nombre de particules va vraiment nous indiquer le nombre de particules présentes dans l'air. Néanmoins, ça ne nous renseigne pas sur la taille même de ces particules. Or, leur taille apporte des informations sur leurs sources. Le trafic routier ou les activités aéroportuaires peuvent émettre des particules inférieures à 20 nanomètres, tandis que le chauffage au bois en hiver est associé à des particules autour de 100 nanomètres. C'est précieux pour distinguer les différentes populations de particules et mieux comprendre leurs sources et leur évolution dans l'atmosphère.

Que peut apporter la modélisation des PUF ?

Karine Sartelet - La modélisation va permettre de réaliser une cartographie sur tout un territoire. On peut ainsi connaître les concentrations dans différentes rues, dans un parc ou en zone périurbaine. La cartographie est utile pour évaluer l'exposition des personnes aux PUF, selon les lieux où ils habitent ou se déplacent. Cette estimation de l'exposition est nécessaire ensuite pour appréhender les impacts sanitaires. La modélisation permet aussi d'étudier des scénarios : que se passerait-il si l'on réduisait les émissions du trafic routier ? Comment évoluerait la pollution en 2030 ou 2050 ? Les campagnes de mesure d'Airparif ont permis d'évaluer et d'améliorer les modèles, avec des résultats encourageants.

Comment articuler recherche scientifique et surveillance opérationnelle ?

A. B. - Ce sont deux approches complémentaires qui doivent évoluer ensemble. La recherche aide à améliorer les méthodes de surveillance et à interpréter les observations, tandis que la surveillance fournit à la recherche des données issues de conditions réelles.

K. S. - On a un but commun : permettre aux décideurs publics et à la population de mieux comprendre les PUF, leurs évolutions et leurs impacts. La recherche et l'opérationnel ont vraiment intérêt à travailler ensemble pour faire avancer les connaissances.

Retrouvez l'intégralité de l'interview en vidéo sur la chaîne YouTube d'Airparif youtu.be/v3gP3n27nLo

Cinq ans pour observer les PUF sous toutes leurs facettes

Un point de mesure permanent ne peut pas, à lui seul, rendre compte de la diversité d'un territoire comme l'Île-de-France. Entre 2020 et 2025, Airparif a donc déployé ses instruments dans plusieurs environnements afin de comprendre comment les concentrations et la taille des PUF varient selon les lieux, les saisons et les sources présentes.

Une étude construite par étape

Après la mise en place de la surveillance permanente à la station située aux Halles, à Paris, fin 2019, Airparif a lancé fin 2020 un programme pluriannuel destiné à caractériser la variabilité spatiale et temporelle des PUF.

Le principe est de réaliser des campagnes simultanées sur plusieurs sites, pendant plusieurs mois et à différentes saisons, puis de comparer les résultats à la station de référence, et entre sites d'étude.

2003
Premières mesures exploratoires de PUF avec le LCSQA à Gennevilliers

2019
Surveillance permanente par SMPS à Paris à la station Les Halles

2020-2021 Le fond hivernal
Première question : que mesure-t-on loin des sources immédiates ?
Trois sites urbains ou périurbains et un site rural ont été étudiés. Les concentrations observées ont été deux à trois fois plus élevées dans l'agglomération parisienne qu'en zone rurale. Les analyses ont également mis en évidence l'influence chronique du trafic routier, comme source émettrice de particules de très petite taille et, en hiver, du chauffage au bois, émetteur de particules plus grossières mais toujours dans la fraction ultrafine, même sur des sites éloignés des sources directes. Lors de périodes de grand froid entrainant des émissions accrues liées au chauffage domestique, cette source de PUF peut devenir majoritaire par rapport au trafic routier sur tous les sites franciliens de cette étude.

En savoir + Fond hiver 2020-2021 - Synthèse de l'étude

Été 2021 Au bord des routes
Deuxième question : quelle est l'influence directe du trafic ?
À proximité des axes routiers étudiés, les concentrations en PUF étaient deux à six fois supérieures à celles relevées simultanément sur le site de fond parisien. Les mesures ont révélé des pics de concentration le matin et le soir, atteignant plusieurs centaines de milliers de particules par cm³. Cette variabilité temporelle est caractéristique des émissions associées au trafic routier. Au-delà de leur origine primaire, ces particules peuvent aussi résulter en été de mécanismes physicochimiques favorisés par des conditions météorologiques (fort ensoleillement, températures élevées) propices à la formation de nouvelles particules à partir des gaz d'échappement.

En savoir + Proximité au trafic été 2021

2022-2023 Une étude complémentaire confirme le rôle du trafic à Paris
Ces ordres de grandeur ont aussi été constatés dans l'étude menée à Paris. Les concentrations de PUF mesurées le long des axes routiers étudiés étaient deux à trois fois supérieures à celles observées à distance du trafic. L'étude confirme ainsi le rôle majeur de la circulation routière dans la pollution aux PUF et met en évidence d'importantes différences de concentrations selon la proximité des sources.

En savoir + Proximité au trafic, Paris, hiver-printemps 2022 et été 2023 - Synthèse de l'étude

2022 Autour de Paris-CDG
Troisième environnement : une plateforme aéroportuaire
Airparif a mesuré de forts niveaux de PUF, comparables à ceux relevés sur la station du boulevard périphérique, sur la plateforme et à son immédiate proximité (environ à 1 km autour). L'influence des activités aéroportuaires restait observable à 5 km sous les vents de la plateforme, mais n'était plus identifiable à 10 km, où les autres sources locales devenaient prédominantes.

En savoir + Autour de Paris-CDG - Synthèse de l'étude

2024-2025 Le trafic routier et le chauffage au bois
La campagne hivernale 2024-2025 a permis d'approfondir la connaissance des sources de PUF à proximité du trafic routier. Elle confirme l'influence majeure et chronique de ce dernier, avec des concentrations nettement plus élevées près des axes routiers qu'en situation de fond. Les mesures mettent également en évidence la contribution du chauffage au bois en hiver, qui peut devenir ponctuellement une source d'émission dominante, y compris sur certains sites proches du trafic routier. Les mesures de PUF réalisées à l'été 2021 indiquent des niveaux environ deux fois plus élevés que ceux observés à l'hiver 2024-2025, traduisant un impact saisonnier marqué.

En savoir + Proximité au trafic été et hiver 2024-2025 - Synthèse de l'étude

2025 Compléter le puzzle
La dernière campagne du programme, consacrée au fond estival, a notamment permis d'approfondir les connaissances sur la formation de nouvelles particules dans l'atmosphère. A partir de composés gazeux présents dans l'air et sous l'effet du rayonnement solaire et de températures élevées, de nouvelles particules peuvent se former par nucléation, puis grossir par condensation ou coagulation. Les mesures ont également mis en évidence les spécificités du milieu rural, où la taille des particules peut varier sous l'influence de plusieurs facteurs : la nature des sources d'émission, les transformations atmosphériques et l'influence de l'agglomération parisienne selon les conditions de vents. Ainsi, la contribution relative de ces différentes sources et le transport des particules peuvent entraîner des variations de leur diamètre. En été, le diamètre moyen des particules mesurées sur le site rural est d'environ 50 nm, toutes directions de vent confondues.

En savoir + Fond été 2025 - Synthèse de l'étude

2026
Surveillance par SMPS à la station trafic Boulevard périphérique Est

Ces différentes études et instrumentations ont été réalisées avec le soutien de l'Agence régionale de santé Île-de-France, la Métropole du Grand Paris, la Communauté d'agglomération Paris-Saclay, Groupe ADP, la Ville de Paris, Breathe Cities et le Conseil régional d'Île-de-France.

Les PUF changent de visage selon les lieux et les saisons

Les différentes campagnes dressent progressivement une image plus précise des particules ultrafines en Île-de-France. Premier enseignement : il n'existe pas un niveau unique de PUF représentatif de tout un territoire. Les concentrations et les tailles observées présentent une très grande variabilité et dépendent fortement de l'environnement, des activités présentes, de la saison et des transformations qui ont lieu dans l'atmosphère.

1. Le trafic routier constitue une source majeure en milieu urbain

C'est le résultat le plus récurrent des différentes études. Le trafic routier apparaît comme une source chronique majeure de PUF dans l'agglomération parisienne, y compris à distance immédiate des axes. Les mesures mettent en évidence une signature spécifique avec des particules fréquemment situées entre 10 et 30 nm.

2. Être près d'une source change fortement les niveaux

Les concentrations peuvent augmenter rapidement lorsqu'on se rapproche d'une source.

À proximité du trafic, entre 14 200 et 25 600 part./cm³ ont été mesurées, contre 6 400 à 10 800 part./cm³ en situation de fond urbain. À Paris-CDG, les concentrations en nombre de PUF sont élevées sur la plateforme aéroportuaire et à son immédiate proximité, puis diminuent de manière assez drastique avec l'éloignement de l'aéroport.

3. En hiver, le chauffage au bois laisse également son empreinte

Les campagnes hivernales montrent une contribution du chauffage résidentiel au bois, qui peut varier selon les sites de mesure, avec une signature chimique et granulométrique bien distincte de celle du trafic, entre 70 et 130 nm. Sa contribution peut devenir majoritaire par rapport au trafic routier lors de conditions météorologiques très hivernales, avec la baisse des températures et l'augmentation du recours à ce type de chauffage. A titre d'exemple, les niveaux de PUF lors d'une journée d'épisode de pollution ont été plus importants sur les sites installés en zones résidentielles périphériques à Paris que sur le site de fond, s'expliquant par un recours plus marqué au chauffage au bois.

4. Les PUF ne sont pas uniquement émises : elles se transforment et se forment aussi dans l'air

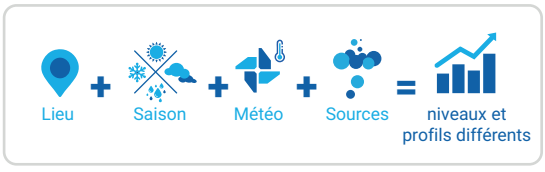
Les observations mettent également en évidence le rôle de processus atmosphériques complexes : nucléation, croissance par condensation, coagulation et vieillissement. Quantifier la contribution exacte de ces mécanismes au regard des sources primaires fait partie des prochaines étapes scientifiques.

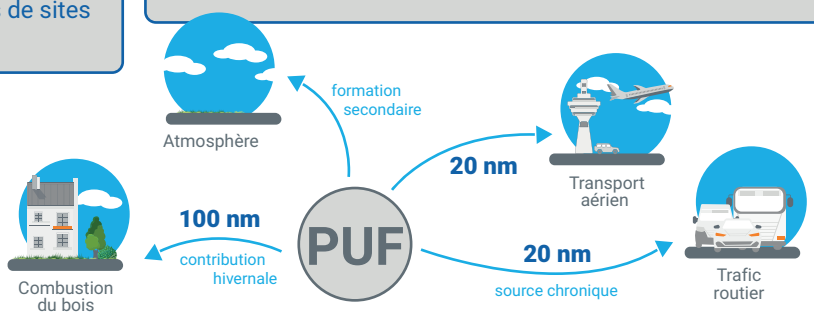
5. Les PUF présentent une variabilité particulièrement importante

La synthèse des campagnes conclut que leur variabilité spatiale est plus importante que celle observée avec les indicateurs fondés sur la masse des particules. Cela renforce l'intérêt d'un réseau combinant plusieurs typologies de sites plutôt que d'une mesure unique.

6. Les petites chaufferies biomasse émettent des PUF

Une étude, de mesures à l'émission, menée en 2025 par Airparif montre que, comme pour les autres moyens de chauffage au bois, les particules émises par les petites chaufferies biomasse sont majoritairement situées dans la gamme de taille des ultrafines, avec des diamètres entre 30 et 50 nm.





La surveillance des PUF entre dans une nouvelle étape

Longtemps étudiées essentiellement dans le cadre de programmes de recherche, les particules ultra-fines font désormais leur entrée dans la réglementation européenne sur la qualité de l'air. La nouvelle directive européenne 2024/2881 impose leur surveillance dans certaines situations, mais ne fixe pas encore de concentration à respecter.

Une surveillance désormais inscrite dans la réglementation

Adoptée en 2024, la nouvelle directive européenne relative à la qualité de l'air ambiant introduit explicitement les PUF dans les obligations de surveillance : il s'agit désormais de mesurer le nombre total de particules, tout en assurant un suivi des PUF en distribution par taille.

Les États membres doivent notamment disposer de points de mesure dans des lieux où des concentrations élevées sont susceptibles d'être observées, en lien avec des sources telles que le trafic routier, les aéroports, les ports, les sites industriels ou le chauffage domestique. La directive prévoit au minimum un point de mesure pour cinq millions d'habitants dans ces environnements à fortes concentrations potentielles.

Elle envisage également des super-sites de surveillance multi-instrumentés, destinés à documenter plus finement la pollution atmosphérique sur le long terme.

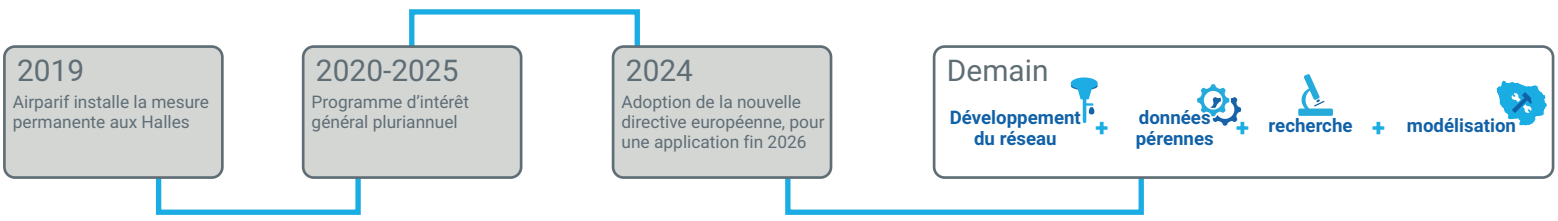
Pourquoi aucune valeur limite ?

Pour les PM_{10} ou les $PM_{2,5}$, la réglementation fixe des concentrations à ne pas dépasser. Ce n'est pas encore le cas pour les PUF. Les niveaux indicatifs publiés par l'OMS en 2021 (voir p.8) aident à situer les concentrations mesurées, mais ne constituent pas des valeurs limites ni des seuils d'innocuité.

L'inscription de leur surveillance dans la directive représente donc d'abord une étape de production de connaissances harmonisées : disposer de plus de données produites dans de mêmes conditions, sur davantage de territoires et sur de longues périodes. Ces informations pourront alimenter les travaux scientifiques et épidémiologiques nécessaires pour mieux caractériser les relations entre exposition et effets sanitaires. L'élaboration de valeurs toxicologiques de référence par l'Anses en 2026 constitue aussi une avancée pour quantifier ces risques.

De la recherche à la surveillance opérationnelle

Les travaux engagés en Île-de-France dès 2003 prennent ainsi une nouvelle dimension. Après plusieurs années consacrées à déployer et tester les instruments, acquérir des données, comparer les environnements et identifier les sources, l'enjeu consiste désormais à construire un dispositif de surveillance combinant mesures et modélisation capables de documenter les PUF dans la durée et à une échelle territoriale pertinente. Deux stations de mesure permanentes accueillent ainsi la mesure des PUF en Île-de-France : un site de fond (Paris 1er Les Halles) et un site proche du trafic routier (Boulevard périphérique Est).



Ce qu'il reste à comprendre

Après plusieurs années consacrées à mieux connaître les PUF, l'enjeu est désormais de transformer ces connaissances en une surveillance pérenne, harmonisée et suffisamment fine pour mieux évaluer l'exposition et éclairer les politiques publiques.

Quelle est précisément la contribution de chaque source à l'échelle régionale ?

Des travaux d'identification et de quantification des sources restent nécessaires.

Quels sont les meilleurs indicateurs pour caractériser l'exposition ?

Nombre total, distribution en taille, surface déposée dans les poumons : plusieurs indicateurs sont encore étudiés.

Comment représenter les PUF sur l'ensemble du territoire ?

La forte variabilité spatiale des PUF pose la question de la représentativité des stations et du développement de la modélisation.

Quels leviers sont les plus efficaces pour réduire les niveaux ?

Connaître une source ne suffit pas encore toujours à quantifier précisément l'effet d'une action. Pour le trafic routier, par exemple, les concentrations ne dépendent pas uniquement du nombre de véhicules : leurs caractéristiques, leurs émissions et les conditions de circulation peuvent également intervenir.

Quels niveaux présentent quel risque pour la santé ?

Les connaissances progressent, notamment avec les travaux de l'Anses sur les valeurs toxicologiques de référence. Mais elles doivent encore être consolidées pour pouvoir définir des valeurs réglementaires.

POUR ALLER PLUS LOIN

AIRPARIF

- **Les particules ultrafines**
- **Les rapports des programmes d'études** (cf. p.12).
- **Mesures à l'émission de petites chaufferies biomasse (< 500 kW)**, Airparif, 2025.
- **Ultrafine particles monitoring in Paris: from total number concentrations to size distributions measurements**, Abbou et al., 2024.

AUTRES ORGANISMES

- **Lignes directrices relatives à la qualité de l'air, Organisation mondiale de la santé,** 2021.
- **Directive européenne 2024/2881**.
- **Quantifying olfactory and alveolar deposition of ultrafine particles using multiscale modeling: implications for brain exposure**, Sartelet, Lugon, Park, Gaie-Levrel, 2026.
- **Characterisation of gaseous and particulate emissions from small-scale biomass boilers (<400 kW) under real operating conditions**, Collet, Gaie-Levrel, Joly, Jaffrezo, Uzu, Tassel, Besombes, Pin, Augeven-Bour, Henry, Redaelli, Keirsbulck, Marfaing, 2026.
- **Rapport d'expertise collective sur les valeurs toxicologiques de référence pour les particules ultrafines**, Anses, 2026.
- **Effects of early life exposure to airborne fine and ultrafine particle fractions on lung mucosal vulnerability and susceptibility to viral infection | ANR**, 2025.
- **Inter-annual trends of ultrafine particles in urban Europe**, Garcia-Marlès, Lara, Reche, Pérez, Tobías, et al., 2024.
- **Phenomenology of ultrafine particle concentrations and size distribution across urban Europe**, Trechera, Garcia-Marlès, Liu, Reche, Pérez, Savadkoohi, Beddows, Salma, Vörösmarty, Casans, Casquero-Vera, Hueglin, Marchand, Chazeau, Gille, Kalkavouras, Mihalopoulos, Ondracek, Zikova, Niemi, et al., 2023.

“AGIR POUR UN AIR SAIN DANS UN MONDE PLUS DURABLE”

AIRPARIF