



Campagne de mesure parisienne sur les particules ultrafines (PUF) :

Disposer d'une meilleure compréhension de la variabilité des PUF dans Paris

Volet N°1

Mesures du 31 janvier au 5 mai 2022

Synthèse

Août 2023

**Bloomberg
Philanthropies**



L'Observatoire de l'air en Île-de-France



AIRPARIF – L'Observatoire de l'Air en Ile-de-France

7 rue Crillon - 75004 PARIS

Tel : 01 44 59 47 64 – Fax : 01 44 59 47 67

www.airparif.fr

« Le bon geste environnemental : N'imprimez ce document que si nécessaire et pensez au recto-verso ! »

REMERCIEMENTS

La comparaison des niveaux de particules ultrafines entre Paris et les autres métropoles européennes et nord-américaines a pu être réalisée grâce aux échanges et à la fourniture de données des différents organismes de surveillance de la qualité de l'air (dans l'ordre d'apparition dans le rapport) :

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Dresde, Allemagne) ;

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) (Francfort, Allemagne) ;

Gemeentelijke Gezondheidsdienst (GGD) Amsterdam (Amsterdam, Pays-Bas) ;

Réseau de surveillance de la qualité de l'air (RSQA) Montréal (Montréal, Canada) ;

Imperial College London et National Physical Laboratory (NPL) (Londres, Angleterre) ;

Et également DCMR Environmental Protection Agency (Rotterdam, Pays-Bas) ;

Bruxelles environnement (Bruxelles, Belgique) ;

ARPA Lombardia (Milan, Italie) ;

Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA) ;

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIS) (Barcelone, Espagne) ;

avec qui nous avons eu des échanges scientifiques sur la thématique de Particules Ultrafines.

Cette étude a été financée par Bloomberg Philanthropies dans le cadre d'un partenariat avec la Ville de Paris.

SYNTHESE

Contexte

Prenant appui sur le programme d'études proposé par Airparif sur la variabilité spatiale des particules ultrafines décidé compte-tenu du risque avéré pour la santé (ANSES, 2019)¹, la Ville de Paris, Bloomberg Philanthropies et Airparif ont lancé une étude de mesures des particules ultrafines (PUF) dans l'objectif de disposer d'une meilleure compréhension de leur variabilité spatiale dans Paris. En effet, l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) insiste sur la nécessité de compléter et de pérenniser l'acquisition de données dans l'air ambiant pour les PUF et d'assurer un suivi particulier sur le long terme (ANSES, 2018)², l'Organisation Mondiale de la Santé fait de même dans ses *Nouvelles lignes directrices mondiales sur la qualité de l'air* (OMS, 2021)³.

Ces travaux sur Paris visent à compléter le suivi permanent des variations temporelles du nombre des PUF par classes granulométriques au centre de l'agglomération parisienne sur le site urbain de fond implanté par Airparif dans le jardin des Halles à Paris, ainsi que les travaux de différentes campagnes de mesure sur le territoire francilien. Ces travaux sur Paris sont financés par Bloomberg Philanthropies.

Le premier volet de cette étude, objet du premier rapport, s'est focalisé sur l'analyse de la variabilité des particules ultrafines (PUF) au cours de la période hivernale et printanière de l'année 2022 et l'évaluation de l'impact du chauffage au bois sur les niveaux de particules ultrafines dans Paris en croisant les résultats avec des mesures du carbone suie. Une première comparaison des niveaux constatés avec ceux observés dans différentes métropoles européennes et nord-américaine (Montréal, Canada) en situation urbaine de fond et de proximité au trafic routier a également été réalisée.

La seconde campagne de mesure menée pendant l'été 2023 prévoit une expérimentation complémentaire sur l'un des sites de mesure à proximité du trafic dans le cadre d'Airlab, le laboratoire d'innovation ouverte d'Airparif et ses partenaires. Une caméra sera installée pour évaluer la nature du trafic routier. Si l'expérimentation est concluante, elle permettra d'analyser les niveaux de particules ultrafines au regard de la nature du trafic routier et d'affiner la compréhension des variabilités temporelles observées. Les résultats feront l'objet d'un second rapport.

Campagne réalisée

Afin de documenter la variabilité spatiale des niveaux, 4 sites de mesure ont été instrumentés en complément du site de référence de fond parisien situé dans le jardin des Halles :

- 2 points à proximité immédiate du trafic routier (site « trafic ») sur deux sites du réseau permanent d'Airparif pour des axes routiers de typologies contrastées :
 - o Boulevard Périphérique Est (75) – noté « BPE » (2 fois 4 voies de circulation au droit de la station avec un trafic moyen journalier annualisé (TMJA) de 243 400 véhicules par jour).

¹ (ANSES, 2019) [Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie.](#)

² (ANSES, 2018) [Polluants émergents » dans l'air ambiant – Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance de la qualité de l'air.](#)

³ (OMS, 2021) [Les nouvelles lignes directrices mondiales de l'OMS sur la qualité de l'air visent à éviter des millions de décès dus à la pollution atmosphérique.](#)

- Boulevard Haussmann (75) – noté « HAUS », un site de mesure « trafic urbain » implanté dans une rue de type « rue canyon » (4 voies de circulation en sens unique dont une voie de bus avec un TMJA de 38 000 véhicules par jour).
- 2 points de mesure en situation de fond urbain, c'est-à-dire des sites hors influence directe d'une source de pollution locale telle qu'un axe routier ou une installation industrielle. Les sites ont été sélectionnés pour estimer la variabilité des niveaux des PUF dans Paris notamment en lien avec la combustion de biomasse (qui désigne le chauffage au bois l'hiver et le brûlage de végétaux l'été). Ne disposant pas de donnée précise sur la localisation des foyers individuels dans Paris (cheminée ouverte - poêle à bois - petite chaufferie biomasse, etc.), la sélection des sites s'est appuyée sur l'analyse du parc de logements réalisée par l'Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR, Juillet 2018)⁴, les bâtiments érigés avant 1975 pouvant potentiellement être équipés de cheminée à foyer ouvert, de poêle à bois ou à granulés. Paris peut se découper en 3 grandes zones de bâti : la première zone est l'hyper centre avec des bâtiments principalement construits avant 1800, la deuxième zone appelée « Haussmannienne » dans le rapport est composée majoritairement de bâtiments construits avant 1914 et, la troisième zone est caractérisée par un mix de bâtiments de différentes périodes de construction mais majoritairement construits avant 1975. Il est retenu de disposer pour cette campagne d'un point de mesure dans chaque zone.
 - Le site urbain de fond permanent de référence d'Airparif se situe dans l'hyper centre parisien (station Paris 1^{er} les Halles - notée « PA01 ») ;
 - La station permanente Paris 18^{ème} est implantée dans la zone Haussmannienne (« PA18 »)
 - Un site temporaire a été installé dans le 19^{ème} arrondissement de Paris – noté « PA19 » dans la zone dite « mixte », avec beaucoup de maisons individuelles, potentiellement équipées de systèmes de chauffage utilisant de la biomasse. Sur ce site, seules des mesures de carbone suie ont été réalisées.

La mesure des niveaux de PUF a été réalisée à l'aide d'analyseurs de particules ultrafines de type CPC et SMPS, permettant l'acquisition de résultats en concentrations en nombre total de particules mais aussi en profil granulométrique pour les particules de 5 à 400 nm de diamètre.

Afin d'analyser l'origine de ces particules, des mesures de carbone suie ont également été réalisées.

La campagne de mesure hivernale et printanière s'est déroulée du **31 janvier au 5 mai 2022**.

Les conditions météorologiques jouent un rôle très important de dispersion ou d'accumulation des polluants atmosphériques émis. Plus les conditions sont dispersives, plus les niveaux de pollution observés sont faibles. La température, l'ensoleillement et les précipitations influencent également les niveaux de pollution. La provenance des vents et leur intensité permettent de plus d'identifier les zones sous l'influence de sources spécifiques.

Globalement le début de l'année 2022 a été plus doux que la normale : les températures moyennes mensuelles classent 2022 à la dixième place des mois de mars les plus doux des cinquante dernières années, avec un ensoleillement quasiment moitié plus que la normale. Le mois d'avril a été marqué en début de mois par une offensive hivernale avec un coup de froid suivi d'un retour de la douceur. Les perturbations ont été assez rares et peu actives avec un déficit de pluie sur les mois de février et de mars. Les régimes de vents étaient essentiellement dispersifs pendant la campagne, comme sur la période de référence 2010-2020 mais avec une sous-représentation du secteur de vent Sud et une sur-représentation du secteur Sud-Est.

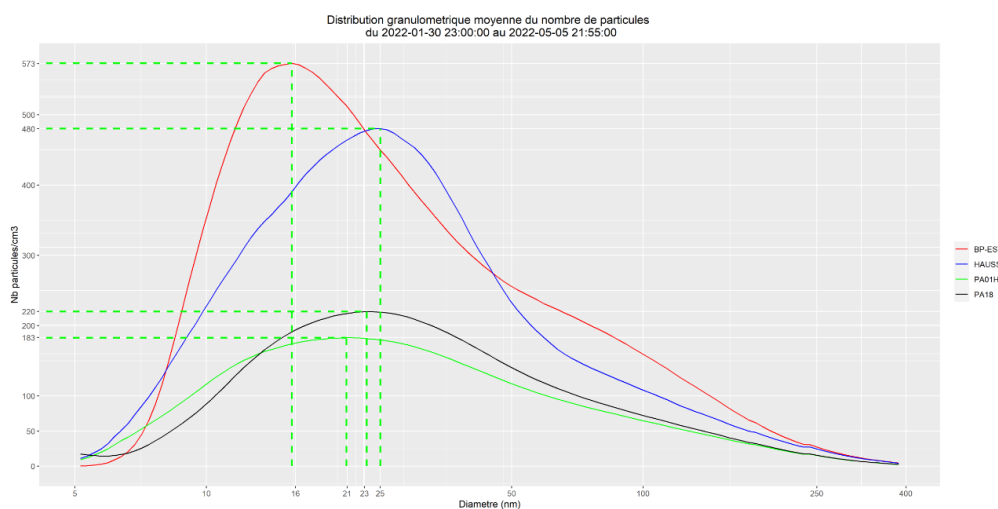
⁴ (APUR, juillet 2018) [Evolution des modes de chauffage des résidences principales de la MGP.](#)

Ces conditions météorologiques ont engendré sur le début d'année une qualité de l'air avec des indices allant de « moyen » jusqu'au qualificatif « mauvais ». En mars, 3 jours de dépassement du seuil d'information et de recommandations ont été observés le 24, 25 et 26 mars 2022 pour les particules PM₁₀ en région Île-de-France. De plus, ce mois a été marqué par l'import d'un nuage de sable en provenance du Sahara (du 14 au 17 mars). Le ciel a pris alors un aspect laiteux sous le nuage de sable avec parfois des teintes ocres.

Caractérisation des particules ultrafines

Le comptage moyen du nombre total de PUF (gamme 5 à 100 nm) met en évidence que les sites de fond Paris 1^{er} les Halles et Paris 18^{ème} présentent des niveaux de concentration de PUF similaires et que le nombre de particules ultrafines sur les sites trafic du boulevard Haussmann et du Boulevard Périphérique est 2 à 2.5 fois supérieurs à ceux observés sur les sites urbains de fond étudiés. La variabilité temporelle des niveaux y est également plus importante.

L'appareil de mesure des particules SMPS a été configuré sur un spectre assez large (5 à 400 nm), couvrant ainsi les PUF, inférieures à 100 nm, avec un détail sur toute la gamme en 121 classes de tailles. Les profils granulométriques moyens pour les quatre sites d'étude sur l'ensemble de la campagne sont présentés dans la figure ci-dessous. Le diamètre de particule associé au plus grand nombre de particules en comptage sur le profil granulométrique est appelé « **mode majeur** ». Il est identifié par des pointillés verts pour chaque site.



Distribution granulométrique moyenne sur les 2 sites trafic (BPE en rouge, HAUS en bleu) et les 2 sites de fond (PA01 en vert et PA18 en noir) sur Paris (31 janvier au 5 mai 2022)

Pour chaque site, le mode majeur observé durant l'hiver et le printemps 2022 est inférieur à 30 nm. Ce résultat est conforme aux résultats des précédentes campagne menées par Airparif, notamment celle menée durant l'été 2021 (Airparif, 2022)⁵. Cette tranche de taille fait partie intégrante du mode appelé « Nucléation », indiquant qu'une part majoritaire de particules est « fraîchement » émise, notamment par le trafic routier.

⁵ (Airparif, 2022). [Campagne de mesure francilienne sur les particules ultrafines \(PUF\) – situation proximité au trafic – Été 2021](#)

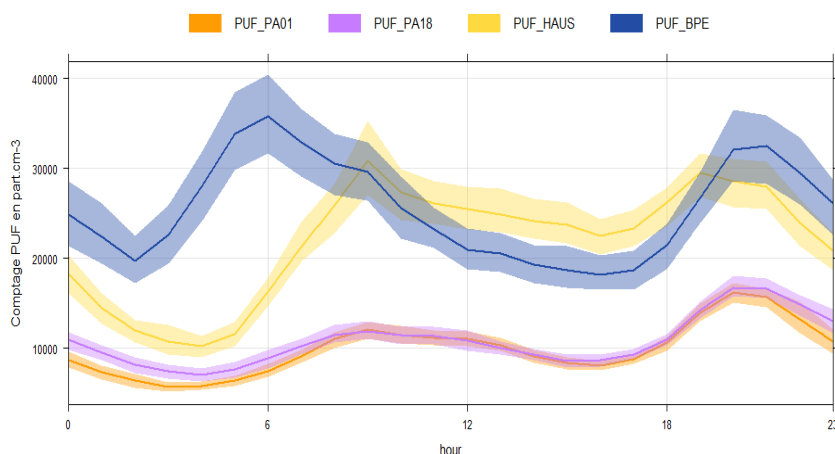
Origine des particules ultrafines à Paris

L'analyse de la caractérisation des particules ultrafines permet de confirmer les enseignements des précédentes campagnes sur la hiérarchie des niveaux entre les sites de fond et les sites de proximité au trafic routier. Les résultats permettent également de confirmer que le trafic routier est l'une des sources importantes de particules ultrafines. Pour aller plus loin sur l'origine des PUF, des comparaisons avec les résultats de mesure de carbone suie sur chaque site de mesure de cette étude ont été menées. Les analyseurs de carbone suie de type AE33 utilisés dans l'étude permettent de quantifier le carbone suie contenu dans les particules PM_{2.5} de l'air ambiant et d'identifier celui issu de la combustion des hydrocarbures (notamment par le trafic routier ; noté « eBCff ») de celui issu de la combustion de biomasse (notamment par le chauffage au bois l'hiver et le brûlage de déchets verts l'été ; noté « eBCwb »).

Impact du trafic routier à Paris

Le trafic routier est une source importante de particules ultrafines à Paris. En effet, les concentrations moyennes en nombre de PUF (gamme 5 à 100 nm) sur la période de mesure sur les sites de proximité au trafic routier sont 2 à 2.5 fois supérieures à ceux enregistrés sur les sites de fond parisiens Paris 1^{er} les Halles et Paris 18^{ème}.

Un profil moyen journalier à deux bosses (le matin et le soir, qui correspond aux heures de pointe du trafic) est observé sur l'ensemble des sites, sur la période hivernale et printanière, ce qui est caractéristique d'un impact lié au trafic routier (voir figure ci-dessous). L'augmentation des niveaux de concentrations de PUF en matinée est observée en premier sur le Boulevard Périphérique (pic à 6h du matin), puis ensuite au sein de Paris intra-muros comme cela est bien visible sur le site du boulevard Haussmann (augmentation plus tardive). Les niveaux baissent ensuite légèrement pour se stabiliser en cours de journée et se réintensifient en fin de journée après 18h. Ce profil est en lien avec celui de l'évolution du trafic, différent pour le Boulevard Périphérique et les autres axes de Paris Intra-muros.



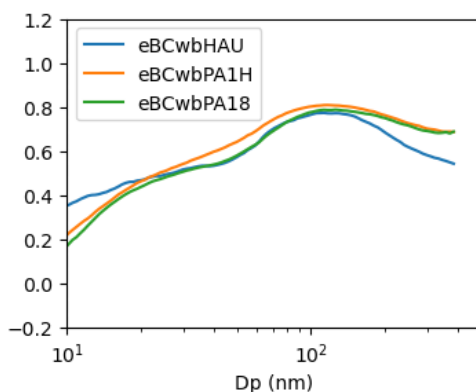
Profils moyens journaliers du nombre de PUF lors de la campagne hiver-printemps 2022

Le mode majeur identifié sur tous les sites, c'est-à-dire la tranche granulométrique avec le plus grand nombre de particules, est inférieur à 30 nm. Cette tranche de taille fait partie intégrante du mode appelé « Nucléation » et indique qu'une part majoritaire de particules est « fraîchement » émise, notamment par le trafic routier. La dynamique d'évolution horaire de chaque taille de particules en nombre montre un profil à deux bosses, caractéristique du trafic routier, sur les sites trafic mais également sur les sites de fond urbain parisiens, confortant cette source « trafic routier ».

Les mesures de carbone suie et la corrélation de la fraction issue de la combustion d'hydrocarbures (eBCff) avec les concentrations de particules ultrafines montrent également l'influence du trafic routier sur les sites d'étude.

Chauffage au bois à Paris

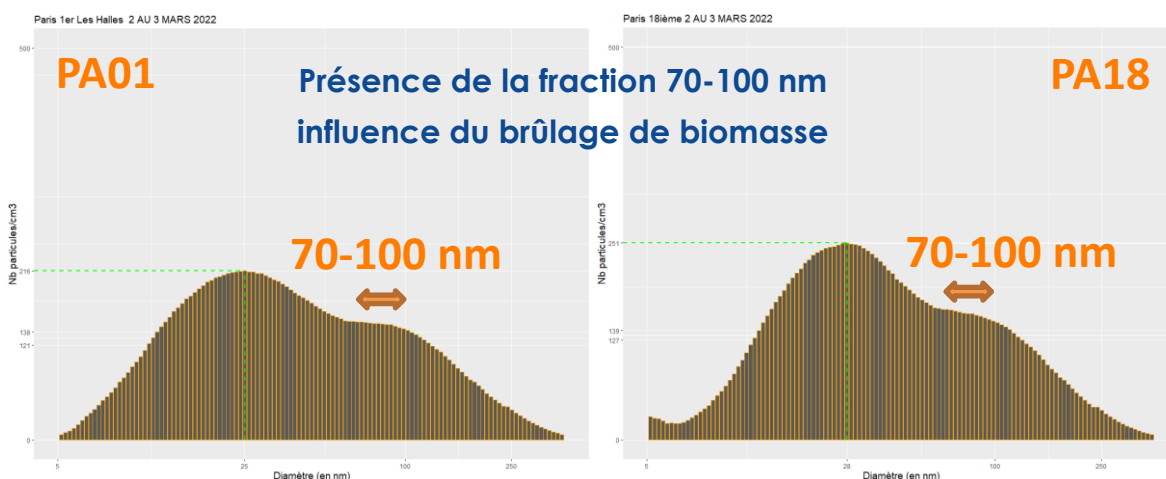
Les corrélations des mesures de concentrations en nombre de PUF par classe granulométrique et des concentrations de carbone suie sont les plus fortes pour les particules dont le diamètre se situe entre 70 et 100 nm, ce qui correspond à la gamme de taille signature de la combustion de biomasse, que ce soit sur les sites de fond ou le site trafic du boulevard Haussmann.



eBCwb : fraction combustion de biomasse

Coefficient de corrélation entre les concentrations moyennes en nombre de particules mesurées par le U-SMPS (part/cm^3) et les concentrations moyennes de carbone suie issu de la combustion de biomasse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en fonction de la taille de la particule (échelle logarithmique 10-400 nm) pour chaque site de mesure (HAUS en bleu, PA01 en orange, PA18 en vert)

Une analyse du profil granulométrique des 2 et 3 mars, journées présentant les niveaux de carbone suie issus de la combustion de biomasse les plus importants de la campagne confirme ce point.



Profil granulométrique (concentrations en fonction de la taille de la particule) pour les sites de Paris 18^{ème} (PA18) et Paris 1^{er} Les Halles (PA01)

Ainsi, malgré des conditions contrastées sur la période avec peu de jours avec des températures froides, propices à l'utilisation de chauffage au bois, la présence notable à Paris de particules ultrafines issues de la combustion de biomasse (chauffage pour la période hivernale) a été montrée. Il est à noter que les sites de mesure de fond ayant été choisis dans des zones potentiellement impactées par le chauffage au bois, ces résultats ne permettent pas de conclure sur l'impact du chauffage au bois à l'échelle de l'ensemble de Paris.

Particules issues de transformations dans l'atmosphère

La campagne de mesures a été marquée par une période avec des conditions météorologiques favorables à la génération de particules « fraîches » appelées « Aérosols Organiques Secondaires ». En effet, les températures douces autour de 20°C, les vents faibles et un ensoleillement soutenu qui combinés avec la présence de précurseurs d'aérosol (COV...), ont généré ces nouvelles particules dans la gamme de taille inférieure à 10 nm, ce qui explique que les niveaux les plus forts des particules ultrafines de diamètre inférieur à 30 nm aient été les plus forts lors de l'épisode. De plus cette période a été favorable à l'augmentation d'Aérosols Inorganiques Secondaires (AIS) notamment en fin de soirée et la nuit.

Etude comparative des niveaux de PUF de métropoles européennes et nord-américaine

Dans le cadre de cette étude, des échanges avec de nombreux experts de la qualité de l'air dans différentes villes européennes (notamment Londres, Amsterdam, Rotterdam, Milan, Berlin, Dresde, Francfort, Barcelone et Bruxelles) et au Canada (Montréal) sur la thématique des PUF ont permis de recueillir des données et de préfigurer des collaborations futures entre les différents experts (exemple : échanges autour de la caractérisation des PUF autour des aéroports, indicateur de tendance d'évolution des PUF sur plusieurs années, etc.).

Les mesures de PUF dans chaque ville sur la période de l'étude 2022 mettent en évidence une disparité de niveaux de PUF d'un site à un autre. En situation de fond urbain, éloignée des principales sources de pollution, les niveaux de particules ultrafines sont plus élevés à Paris sur la période de mesure que dans les métropoles étudiées. Cette différence de niveau est à analyser au regard des conditions climatiques et météorologiques potentiellement différentes entre les sites de mesure. Les variabilités mensuelles sur les sites où les informations sont disponibles montrent en effet que les différents sites urbains présentent des ordres de grandeurs de niveau similaires. De nombreux facteurs propres à chaque ville outre le climat et les conditions météorologiques peuvent influencer les concentrations de PUF en nombre ; c'est le cas de la densité de population et de celle du réseau routier, qui sont très fortes sur l'agglomération parisienne et sans équivalent autre part en Europe. Pour les stations à proximité du trafic routier en particulier, l'analyse des différences entre les sites nécessite une étude approfondie de l'influence des caractéristiques de la station de mesure, les caractéristiques du trafic routier notamment liées aux conditions de circulation (configuration routière en sens-unique ou double-sens, nombre de voies, vitesse, congestion, ...), ainsi que la composition du parc routier (influencée par ailleurs par des Zones à Faibles Emissions différentes) sur les niveaux de particules mesurés aux sites étudiés.

Une analyse plus approfondie concernant les niveaux de particules ultrafines au regard des caractéristiques du parc routier (dont le type de véhicules en circulation et la vitesse de circulation) sur le site trafic du boulevard Haussmann sera réalisée lors de l'interprétation des résultats de la seconde campagne de mesure de l'été 2023 au cœur de Paris. Les données trafic ont été relevées à l'aide d'une caméra de reconnaissance de véhicules implantée dans le cadre d'un projet mené avec AIRLAB, le laboratoire d'innovation ouverte d'Airparif.