

SOURCES ET DYNAMIQUES SAISONNIÈRES DES PARTICULES ULTRAFINES À PARIS

E. Fu¹, C. Ampe^{1*}, G. Abbou^{1**}

¹ Airparif, Observatoire de la qualité de l'air en région Île-de-France, 7 rue Crillon, 75004 Paris, France.

*Adresse actuelle : Atmo Réunion, 7 rue Mahé, La Mare, 97438 Sainte-Marie (La Réunion, France)

**Courriel de l'orateur : gregory.abbou@airparif.fr

TITLE

SOURCES AND SEASONAL DYNAMICS OF ULTRAFINE PARTICLES IN PARIS

RESUME

Les particules ultrafines (PUF) représentent un risque sanitaire majeur en raison de leur petite taille et de leur capacité à pénétrer profondément dans l'organisme. Airparif a mené une étude parisienne complémentaire à son réseau de surveillance, avec le soutien de Breathe Cities et en collaboration avec la Ville de Paris, visant à caractériser les concentrations particulaires en nombre en différents points de la capitale en hiver comme en été, afin d'obtenir une meilleure compréhension de leur variabilité et de leurs sources d'émissions, notamment le trafic routier et le chauffage au bois en hiver. Ces niveaux mesurés à Paris ont également été comparés à ceux d'autres villes européennes.

ABSTRACT

Ultrafine particles (UFP) pose a major health risk due to their very small size and their ability to penetrate deeply into the body. Airparif has launched a Paris-based study to complement its monitoring network, with support from Breathe Cities and in collaboration with the City of Paris. The objective is to provide particle-number concentrations at various locations across the capital in both winter and summer, in order to better understand their variability and emission sources, specifically road traffic and residential wood-burning heating in winter. The levels measured in Paris were also compared with those recorded in other European cities.

MOTS-CLÉS: PUF, concentration en nombre, Qualité de l'air urbaine, MPSS, Paris

KEYWORDS: UFP, number concentration, Urban air quality, MPSS, Paris city

1. INTRODUCTION

Depuis fin 2019, Airparif mesure les variations temporelles des concentrations en nombre de particules ultrafines (PUF) au centre de Paris (station de Paris 1^{er} – Les Halles) et mène une étude de la variabilité spatiale des PUF en Île-de-France dans des environnements variés (fond urbain, fond rural, à proximité du trafic routier et des plateformes aéroportuaires). Ces particules, caractérisées par un diamètre inférieur à 100 nm, ne sont pas réglementées à ce jour, bien qu'elles constituent un risque avéré pour la santé (Casee et al., 2019 ; Rivas et al., 2020). L'ANSES, l'OMS et la nouvelle Directive Européenne préconisent de renforcer leur surveillance sur le long terme afin de contribuer à la définition de valeurs limites et aux études d'impacts sanitaires de ces polluants de l'air (WHO, 2021; ANSES, 2019). Airparif a lancé une étude parisienne avec le soutien de Breathe Cities et en collaboration avec la Ville de Paris. Elle visait à caractériser les concentrations particulaires en nombre en différents points de la capitale en situation de proximité au trafic et en situation de fond urbain en hiver comme en été, afin d'obtenir une meilleure compréhension de leur variabilité et de leurs sources d'émissions. Les niveaux mesurés à Paris ont également été comparés à ceux d'autres villes européennes, dont Londres, Francfort et Amsterdam.

2. METHODES

2.1. Site et période de mesure

Deux campagnes de mesure ont été menées pour analyser la variabilité saisonnière des particules ultrafines : une première en hiver-printemps, du 31 janvier au 5 mai 2022, puis une seconde en été, du 17 juillet au 15 septembre 2023. Au total, cinq sites ont été instrumentés dans la capitale, dont trois en fond urbain, à savoir (1) - le super-site Paris Jardin des Halles d'Airparif, situé au centre de Paris, (2) - la station de Paris 18^{ème} implantée dans la zone haussmannienne, (3) - un site temporaire déployé dans le 19^{ème} arrondissement au sein d'une zone dite « mixte » caractérisée par de nombreuses maisons individuelles potentiellement

équipées de systèmes de chauffage à la biomasse. Deux autres stations ont été installées à proximité du trafic routier, à savoir (1) - le long du Boulevard Périphérique Est et (2) - à proximité du boulevard Haussmann.

2.2. Instrumentation et traitement de données

Les mesures de PUF ont été effectuées à l'aide de spectromètres de mobilité électrique de type MPSS (U-SMPS, PALAS GmbH). En termes de diamètre de mobilité électrique (d_{me}), les mesures de l'U-SMPS couvrent 121 classes de taille de particules allant de 5 à 400 nm. Celles-ci ont suivi les recommandations de la norme CEN/TS 17434:2020 actuellement en vigueur. En parallèle, les concentrations de carbone suie (BC) ont été mesurées à l'aide d'aéthalomètres (modèle AE33, Magee Scientific) ce qui a permis d'identifier les fractions issues des combustibles fossiles (BC_{ff}) et de la combustion de biomasse (BC_{wb}). Cette instrumentation a été complétée dans le cadre d'une expérimentation du laboratoire d'innovation d'Airparif (AIRLAB) par l'installation d'une caméra d'acquisition de données relatives au trafic routier sur le site du boulevard Haussmann (du 25 juillet au 10 septembre 2023) permettant d'affiner les connaissances sur les conditions de trafic et de contribuer aux corrélations avec les mesures expérimentales.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Concentrations en nombre et les sources de PUF à Paris

Les résultats de cette étude menée à Paris confirment que le trafic routier constitue une source chronique de particules ultrafines (PUF) dans la capitale, tandis que le chauffage au bois apparaît également comme une source primaire significative en période hivernale (Airparif, 2022a ; Airparif, 2022b). Les concentrations en nombre de PUF sont de deux à trois fois plus élevées à proximité des axes routiers qu'en fond urbain (Figure 1). Cet écart varie au cours de la journée en fonction de l'intensité des émissions. Des variations saisonnières sont également observées : dans cette étude, les concentrations hivernales en nombre se révèlent plus élevées que celles mesurées en été.

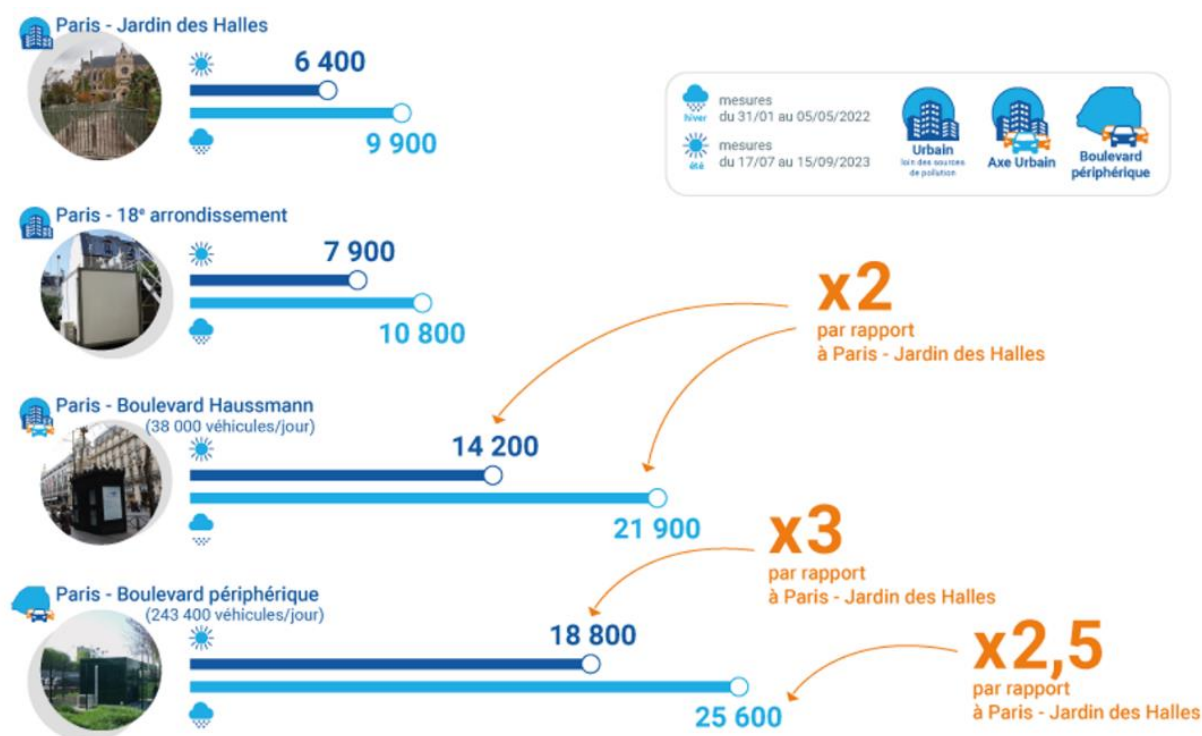


Figure 1. Concentrations moyennes sur la campagne hiver 2022 (bleu clair) et été 2023 (bleu foncé) sur les 4 sites à l'étude et les ratios par rapport au site de référence Paris – Jardin des Halles.

Les émissions liées au trafic routier sont caractérisées par un diamètre modal autour de 20 ± 10 nm. Plus la source trafic est proche, plus ce diamètre modal se rapproche des 10 nm. Cela est particulièrement observé à proximité du Boulevard Périphérique. Le chauffage au bois est caractérisé par des émissions de particules ayant des diamètres compris dans la gamme 85 ± 15 nm (Abbou et al., 2024). Enfin, une troisième population

de particules a été identifiée, correspondant à des particules secondaires formées dans l'atmosphère par transformation de précurseurs gazeux, qui contribue à la pollution particulaire tout au long de l'année (Rivas et al., 2020). Leur composition varie selon les conditions météorologiques et les émissions locales, renforçant la complexité de caractérisation de la pollution aux particules ultrafines.

3.2. Comparaison à d'autres villes européennes

La comparaison des concentrations en nombre de PUF à l'échelle annuelle entre Paris et plusieurs autres villes européennes met en avant que Paris présente des niveaux parmi les plus élevés, aussi bien en proximité trafic (1^{ère}/6 villes) qu'en fond urbain (12^{ème}/16 villes) (Trechera et al., 2023).

Cet exercice a aussi été réalisé à l'échelle des deux campagnes de mesures avec des données fournies par des partenaires sur les villes de Dresde, Francfort, Amsterdam et Londres illustrant les mêmes résultats (Figure 2). L'influence de la saison varie selon les villes : Paris et Londres affichent des concentrations plus faibles en été, contrairement aux autres villes où les niveaux estivaux sont plus élevés. Ces différences peuvent être liées au poids respectif des sources hivernales, comme le chauffage au bois, et des sources estivales, telles que les particules secondaires.

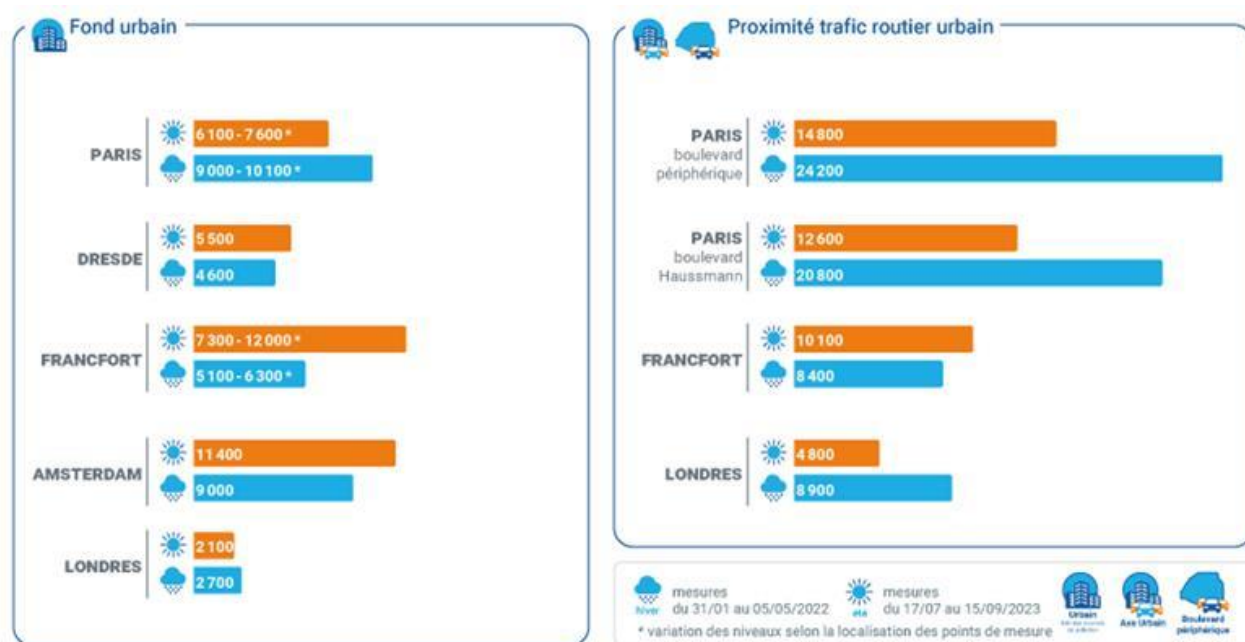


Figure 2. Concentrations moyennes de PUF à Paris durant la campagne hiver 2022 (bleu clair) et été 2023 (orange) en situation de fond, et comparaison aux villes de Dresde, Francfort, Amsterdam et Londres. En situation « trafic », comparaison du site de Paris avec les villes de Francfort et Londres.

Par ailleurs, ce résultat est conforté par l'analyse des distributions granulométriques sur Paris présentant des diamètres modaux plus fins et associés à des concentrations de particules plus intenses qu'observés dans les autres villes de l'étude. Ce constat est visible autant en situation de fond qu'à proximité du trafic routier. Les données utilisées dans cette étude ne permettent toutefois pas d'expliquer précisément ces écarts. Une analyse complémentaire des sources d'émissions (type de véhicules, modes de chauffage, etc.) ainsi qu'une étude des tendances à long terme des PUF permettraient de mieux comprendre ces différences.

3.3. Expérimentation caméra

Le site du boulevard Haussmann a été retenu pour l'installation d'une caméra d'acquisition de données de trafic dans le cadre d'une expérimentation menée dans le cadre d'AIRLAB, le laboratoire d'innovation d'Airparif. L'objectif était d'affiner la compréhension des facteurs influençant les émissions de particules ultrafines (PUF) liées au trafic routier. L'acquisition des données a été réalisée en partenariat avec la société LOGIROAD. Les informations fournies à Airparif comprennent, pour chaque catégorie de véhicules (véhicule léger, véhicule utilitaire léger, deux-roues motorisé, poids lourd, bus ou car, vélo), leur nombre ainsi que leur vitesse moyenne de circulation dans la zone étudiée. L'analyse de ces données montre que les concentrations en PUF augmentent avec l'intensification du trafic dans des proportions globalement similaires pour l'ensemble

des catégories de véhicules (hors vélos). Les faibles différences de valeurs de corrélation entre la granulométrie des particules (5-20 nm, 20-50 nm, 50-100 nm) et la catégorie de véhicule sont potentiellement liées à des spécificités sur le carburant des véhicules (Sun et al., 2019) mais n'ont pas pu être confirmées dans cette étude. Les tests statistiques portant sur la temporalité de l'impact du trafic sur les concentrations de PUF mesurées à proximité suggèrent que cet impact n'est pas instantané à une résolution de 5 minutes. La méthode appliquée ne permet toutefois pas d'estimer précisément le délai au-delà duquel le nombre de véhicules observé à un instant t n'influence plus les concentrations mesurées ultérieurement. Des expériences en milieu contrôlé (ex : banc d'essais) seraient nécessaires pour identifier l'impact individuel de chaque facteur (vitesse, type de véhicule, etc.).

4. CONCLUSION

Airparif continue la surveillance permanente des PUF au site de Paris –Jardin des Halles afin d'améliorer la compréhension des sources, dont le trafic routier et le chauffage au bois. Ces mesures long-terme ont pour vocation d'alimenter les études épidémiologiques nécessaires afin de fixer des valeurs limites réglementaires ou recommandations de l'OMS. Une campagne de mesures des PUF a été menée à l'été 2025 pour compléter la connaissance des niveaux de fond en Ile-de-France. L'étude conjointe avec d'autres partenaires européens du comportement des PUF à Paris pourrait être poursuivie sur une même méthodologie d'instrumentation lors d'un projet conjoint à plus long terme avec une ville européenne similaire, telle que Londres.

Abbou, G., Gherzi, V., Gaie-Levrel, F., Kauffmann, A., Reynaud, M., Debert, C., Quénel, P., Baudic, A. (2024). Ultrafine Particles Monitoring in Paris: From Total Number Concentrations to Size Distributions Measurements. *Aerosol Air Qual. Res.* 24, 240093. <https://doi.org/10.4209/aaqr.240093>

Airparif (2022a). Campagne de mesure francilienne sur les particules ultrafines (PUF) : Situation de fond hiver 2020-2021. URL https://www.airparif.fr/sites/default/files/document_publication/Synth%C3%A8se_PUF.pdf (accessed 02 August 2024)

Airparif (2022b). Air quality monitoring and information in Île-de-France: regional air quality report - Year 2021. URL https://www.airparif.fr/sites/default/files/document_publication/BilanQA_IDF_2021_UK.pdf (accessed 02 August 2024)

Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (2019). Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie. Rapport d'expertise collective, Juillet 2019, pp. 97. URL <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra-Sante.pdf> (accessed 02 August 2024)

Cassee, F., Morawska, L., and Peters, A. (2019). The White Paper on Ambient Ultrafine Particles: evidence for policy makers. 'Thinking outside the box' Team, October 2019, pp. 23. URL [https://efca.net/files/WHITE%20PAPER-UFP%20evidence%20for%20policy%20makers%20\(25%20OCT\).pdf](https://efca.net/files/WHITE%20PAPER-UFP%20evidence%20for%20policy%20makers%20(25%20OCT).pdf) (accessed 02 August 2024)

Rivas, I., Beddows, D. C. S., Amato, F., Green, D. C., Järvi, L., Hueglin, C., Reche, C., Timonen, H., Fuller, G. W., Niemi, J. V., Pérez, N., Aurela, M., Hopke, P. K., Alastuey, A., Kulmala, M., Harrison, R. M., Querol, X., & Kelly, F. J. (2020). Source apportionment of particle number size distribution in urban background and traffic stations in four European cities. *Environment International*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105345>

Sun, J. (2019). Variability of black carbon mass concentrations, sub-micrometer particle number concentrations and size distributions: results of the German Ultrafine Aerosol Network ranging from city street to High Alpine locations. *Atmospheric Environment - Volume 202*, 256-268. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.029>

Trechera, P., Garcia-Marlès, M., Liu, X., Reche, C., Pérez, N., Savadkoobi, M., Beddows, D., Salma, I., Vörösmarty, M., Casans, A., Casquero-Vera, J.A., Hueglin, C., Marchand, N., Chazeau, B., Gille, G., Kalkavouras, P., Mihalopoulos, N., Ondracek, J., Zikova, N., Niemi, J. V., et al. (2023). Phenomenology of ultrafine particle concentrations and size distribution across urban Europe. *Environ Int* 172. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107744>

World Health Organization (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, pp. 273. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (accessed 02 August 2024).

Ce travail, consacré à la comparaison des niveaux de particules ultrafines entre Paris et plusieurs métropoles européennes, a été rendu possible grâce aux échanges et à la mise à disposition de données par différents organismes de surveillance de la qualité de l'air, que nous souhaitons chaleureusement remercier : le Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie de Dresde, le Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) de Francfort, la Gemeentelijke Gezondheidsdienst (GGD) d'Amsterdam, ainsi qu'Imperial College London et le National Physical Laboratory (NPL) de Londres. Nous exprimons également notre gratitude au RSQA de Montréal, à la DCMR Environmental Protection Agency de Rotterdam, à Bruxelles Environnement, à l'ARPA Lombardia de Milan, ainsi qu'à l'Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA) et au Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Barcelone, avec lesquels des échanges scientifiques ont enrichi ce travail sur la thématique des particules ultrafines. Cette étude a enfin bénéficié du soutien de Breathe Cities, que nous remercions vivement.