

RAPPORT D'ETUDE

Surveillance des particules ultrafines dans la région Hauts-de-France

Etude menée en 2024

Auteurs : Evdokia STRATIGOU

Relecteur : Arabelle PATRON-ANQUEZ

Diffusion : décembre 2024



Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

Avant-propos

Atmo Hauts-de-France est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (décret 2007-397 du 22 mai 2007) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO. Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. Atmo Hauts-de-France est agréée du 1^{er} janvier 2023 au 31 décembre 2025, au titre de l'article L.221-3 du Code de l'environnement.

Conditions de diffusion

Atmo Hauts-de-France communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.atmo-hdf.fr.

Responsabilités

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Hauts-de-France. Ces données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure. Les résultats sont analysés selon les objectifs de l'étude, le contexte et le cadre réglementaire des différentes phases de mesures, les financements attribués à l'étude et les connaissances météorologiques disponibles.

Avertissement

Atmo Hauts-de-France n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Atmo Hauts-de-France – Rapport N°01/2024/EST/01**.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Hauts-de-France :

- depuis le formulaire de contact disponible à l'adresse <http://www.atmo-hdf.fr/contact.html>
- par mail : contact@atmo-hdf.fr
- par téléphone : 03 59 08 37 30

Réclamations

Les réclamations sur la non-conformité de l'étude doivent être formulées par écrit dans les huit jours de la livraison des résultats. Il appartient au partenaire de fournir toute justification quant à la réalité des vices ou anomalies constatées. Il devra laisser à Atmo Hauts-de-France toute facilité pour procéder à la constatation de ces vices pour y apporter éventuellement remède. En cas de litige, un accord amiable sera privilégié. Dans le cas où une solution n'est pas trouvée la résolution s'effectuera sous l'arbitrage des autorités compétentes.

	Nom	Qualité	Visa
Approbation	Arabelle PATRON-ANQUEZ	Responsable du Service Etudes	

Version du document : V4 basé sur trame vierge : EN-ETU-30

Date d'application : 01/01/2021

Sommaire

1. Synthèse de l'étude.....	5
2. Enjeux et objectifs de l'étude	6
2.1. Introduction PUF	6
2.1.1. Définition	6
2.1.2. Sources	6
2.1.3. Effet Sanitaire	7
2.2. Stratégie régionale	8
2.3. Objectifs.....	8
2.4. Période et sites d'étude	9
3. Résultats de l'étude	10
3.1. Mesures des PUFs en 2024.....	10
3.1.1. Localisation	10
3.1.2. Concentrations moyennes	11
3.1.3. Profils journaliers	11
3.1.4. Géolocalisation des sources	13
3.2. Concentration totale en nombre de particules.....	16
3.3. Distribution en tailles de particules.....	16
3.4. Comparaison avec d'autres AASQAs	17
4. Conclusion et perspectives.....	18
5. Annexes	19

Tableaux et Illustrations

Tableau 1 Localisation, influence et années de mesures	9
Figure 1 Comparaison des tailles de particules PM0.1 versus PM2.5	6
Figure 2 Points de mesures PUF dans la région Hauts-de-France en 2025	8
Figure 3 : Localisation de stations des mesures en PUF en 2024.	10
Figure 4 : Concentrations en particules PUFs en 2024 par typologie du site.	11
Figure 5 : Profil journalier sur la base (a) annuelle et (b, c, d) saisonnière des PUFs par site (échelles différentes).	12
Figure 6 : Roses de pollution des PUF (sur la carte), du NO (gauche), du NO ₂ (milieu) et des PM2.5 (droite) à Roubaix Serres.....	13
Figure 7 : Roses de pollution des PUF (sur la carte), du BC _{ff} (a) et BC _{wb} (b), des PM2.5 (c) et des PM1 (d), du NO ₂ (e) et du NO (f) et à Tourcoing Houpline	14
Figure 8 : Roses de pollution des PUF (sur la carte), du BC _{ff} (a) et BC _{wb} (b), des PM1 (c) et des PM2.5 (d) à La Neuville-sur-Oudeuil.....	15
Figure 9 : Concentrations moyennes par typologie du site.	16
Figure 10 : Comparaison du nombre de particules par la classe de taille et par typologie du site.	17
Figure 11 : Comparaison du nombre de particules en moyenne annuelle avec d'autres AASQAs.....	18

1. Synthèse de l'étude

Les **Particules UltraFines** (PUF) sont définies comme l'ensemble des particules ayant un diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 100 nanomètres (nm) ou 0.1 micromètres (µm). Les PUF dans l'atmosphère peuvent constituer un risque important pour la santé humaine et ont un impact important sur le climat.

Depuis 2017, Atmo HdF a défini une stratégie de surveillance des particules ultrafines dans la région Hauts-de-France (2017-2021¹) qui présente l'état de l'art sur les particules ultrafines, les enjeux et les objectifs dans la région Hauts-de-France, le plan d'actions, et la proposition des sites de mesure. A partir de 2021, une mesure PUF a été retenue dans la région en site fixe (mesure sous influence trafic à Lille), en plus des campagnes ponctuelles (CAPARA). En 2024, l'adoption de la nouvelle directive européenne de qualité de l'air introduisant la surveillance des particules ultrafines à partir de 2030, a conduit Atmo HdF à adapter sa stratégie de surveillance pour mieux comprendre la variation des particules ultrafines dans le temps et dans les différentes typologies de la région Hauts-de-France ; 3 mesures fixes ont été introduites dans la stratégie de surveillance dès 2025 (financé en partie par la Métropole Européenne de Lille (MEL) et Direction Régionale Environnement Aménagement Logement (DREAL)), en plus de 6 points de mesures ponctuelles dans le cadre de projet FEDER. Cette étude présente donc l'état de lieux dans la région depuis 2017 avec un focus sur les premiers résultats de 2024 sur 3 points avec des environnements différents : Roubaix Serres (trafic), Tourcoing Houpline (fond urbain) et La Neuville-sur-Oudeuil (fond rural).

À Roubaix Serres et à Tourcoing Houpline, la concentration en nombre total a été mesurée en 2024 avec un CPC (Condensation Particle Counter). Dans le cadre du projet Capara, à la Neuville-sur-Oudeuil, les concentrations en nombre total et la distribution par taille des particules ont été mesurées par un analyseur UFP 3031 (TSI, USA) sur une gamme allant de 20 à 800 nm. D'autres paramètres chimiques (black carbon, particules PM10/PM2.5/PM1, oxydes d'azote, ozone...) et météorologiques (direction et vitesse du vent, humidité relative, température...) ont été suivis en parallèle. Les résultats obtenus indiquent que les concentrations moyennes des PUF varient entre 2 900 – 11 600 particules par centimètre cube d'air (Nb/cm³) en 2024. Le site en proximité trafic montre une concentration plus élevée que les sites de type urbain et rural.

Les PUF peuvent être émises directement dans l'atmosphère par diverses sources : trafic, combustion de la biomasse, processus industriels... Elles sont considérées comme PUF primaires. En même temps, des PUF peuvent être formées dans l'atmosphère à partir d'autres polluants gazeux (formation de nouvelles particules) et appelées PUF secondaires.

Les sources principales des PUF des 3 sites ont été recherchées. Le trafic et le chauffage au bois sont les deux sources principales de PUF en milieu urbain. En période estivale, la formation de nouvelles particules est une source supplémentaire pour les PUF pour les sites urbain et rural.

En résumé, les PUF dans la région proviennent de différentes sources. Dans la région, on mesure environ 7 700 particules par centimètre cube d'air (niveau de fond urbain). Les sites à proximité du trafic sont exposés à un niveau 1.5 fois plus élevé par rapport au niveau de fond.

Néanmoins, les PUF présentes dans d'autres points du territoire sont encore peu connues. Pour poursuivre ces travaux, de nouvelles campagnes d'observation continuent dans la région en 2025 sur 7 territoires supplémentaires : Calais (fond urbain), Grande-Synthe (industrielle), Creil (fond urbain et industrielle), Douai (fond urbain), Vexin-Thelle (fond rural), Compiègne (fond urbain) et Hauts-de-Flandre (fond rural). Ces bases de données permettront de mieux comprendre les sources principales des PUF.

¹ Atmo Hauts-de-France, "Stratégie « particules Ultrafines » Pour La Region Hauts-de-France (2017-2021)" (N°01/2017/SZ, June 2017).



2. Enjeux et objectifs de l'étude

2.1. Introduction PUF

2.1.1. Définition

Les particules atmosphériques sont constituées de matière solide et/ou liquide en suspension dans l'air, qui sont souvent désignées par l'abréviation **PM** (*Particulate Matter* en l'anglais). Selon la taille des particules, les particules atmosphériques peuvent être classées comme « PM10 », « PM2,5 » ou « PM1 », dont le diamètre est inférieur à 10, 2.5 et 1 micromètre(s), respectivement.

Les particules ultrafines (PUF) sont définies comme l'ensemble des particules ayant un diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 100 nm (= 0.1 μ m). Elles peuvent aussi être notées comme PM0.1. A titre comparatif, la Figure 1 montre la différence de taille de façon visuelle entre PM2.5 et PM0.1.

Les PUF, étant trop petites, ne constituent qu'une petite fraction de la masse de particules en suspension (en microgramme) ; par exemple, un million de particules de diamètre 10 nm ont une masse équivalente à une seule particule de diamètre 1 μ m de même densité. Mais elles représentent 80%-90% de la concentration en nombre de particules dans un environnement urbain².

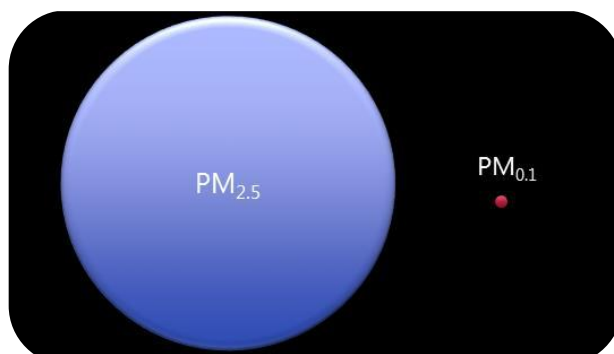


Figure 1 Comparaison des tailles de particules PM0.1 versus PM2.5

2.1.2. Sources

Les particules ultrafines dans l'atmosphère sont composées de particules primaires, émises par des activités anthropiques et des sources naturelles, et de particules secondaires formées à partir des processus de conversion de gaz en particules, notamment la nucléation et la condensation³. Les PUF primaires proviennent

² L. Morawska et al., "Comprehensive Characterization of Aerosols in a Subtropical Urban Atmosphere: Particle Size Distribution and Correlation with Gaseous Pollutants," *Atmospheric Environment* 32, no. 14–15 (August 1, 1998): 2467–78, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00023-5).

³ Markku Kulmala and Veli-Matti Kerminen, "On the Formation and Growth of Atmospheric Nanoparticles," *17th International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols* 90, no. 2 (November 1, 2008): 132–50, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.01.005>.

principalement de l'échappement de moteur (véhicules, bateaux, avions...)^{4,5,6}, des processus industriels⁷, de la transformation d'énergie⁸, et de la combustion de biomasse⁹.

2.1.3. Effet Sanitaire

Les particules ultrafines (PUF) sont particulièrement dangereuses pour la santé car, en raison de leur petite taille, elles peuvent traverser la barrière pulmonaire, pénétrer dans la circulation sanguine et se diffuser dans tout l'organisme, atteignant ainsi des organes vitaux comme le cerveau, le cœur ou encore le foie. Elles peuvent provoquer l'inflammation et potentiellement des maladies cardiovasculaires et respiratoires^{10,11}.

De plus, les PUF ont une surface spécifique plus grande que les grosses particules, qui pourrait :

- 1) adsorber ou condenser plus de polluants atmosphériques toxiques ;
- 2) favoriser les interactions biologiques avec les cellules pulmonaires¹².

Les études épidémiologiques à court terme ont observé les associations positives mais non statistiquement significatives entre les expositions des PUF et la mortalité respiratoire^{13,14}. Cependant, on ne sait pas encore si ces résultats sont uniquement associés aux PUF, ou à une combinaison d'autres fractions de particules ou encore d'autres polluants associés avec des PUF¹⁵. De plus, une étude menée en 2020 par Atmo HdF en collaboration avec le CHU Amiens-Picardie, a montré une corrélation entre les inclusions de patients et les données moyennes journalières en PUF¹⁶.

La législation actuelle sur la qualité de l'air se concentre sur la surveillance et la réduction des concentrations massiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de particules en suspension dans l'air. Cependant, des recherches toxicologiques et épidémiologiques récentes suggèrent que le nombre de particules peut avoir un meilleur lien avec les effets sur la santé que la concentration massique¹⁷. Ainsi, dans le cadre de la nouvelle directive pour la qualité de l'air (Directive 2030), les particules ultrafines rentrent dans la stratégie de surveillance, avec un objectif d'obtenir les informations adéquates aux endroits où s'observent de fortes concentrations de particules ultrafines (par

⁴ Yifang Zhu et al., "Concentration and Size Distribution of Ultrafine Particles Near a Major Highway," *Journal of the Air & Waste Management Association* 52, no. 9 (September 1, 2002): 1032–42, <https://doi.org/10.1080/10473289.2002.10470842>.

⁵ Yenny González et al., "Ultrafine Particles Pollution in Urban Coastal Air Due to Ship Emissions," *Atmospheric Environment* 45, no. 28 (September 2011): 4907–14, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.002>.

⁶ Dane Westerdahl et al., "The Los Angeles International Airport as a Source of Ultrafine Particles and Other Pollutants to Nearby Communities," *Atmospheric Environment* 42, no. 13 (April 2008): 3143–55, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.006>.

⁷ Karine Elihn and Peter Berg, "Ultrafine Particle Characteristics in Seven Industrial Plants," *Annals of Work Exposures and Health* 53, no. 5 (May 15, 2009): 475–84, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep033>.

⁸ Yungang Wang et al., "Long-Term Study of Urban Ultrafine Particles and Other Pollutants," *Air Pollution and Health: Bridging the Gap from Sources-to-Health Outcomes* 45, no. 40 (December 1, 2011): 7672–80, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.08.022>.

⁹ J. Rissler et al., "Size Distribution and Hygroscopic Properties of Aerosol Particles from Dry-Season Biomass Burning in Amazonia," *Atmos. Chem. Phys.* 6, no. 2 (February 9, 2006): 471–91, <https://doi.org/10.5194/acp-6-471-2006>.

¹⁰ Günter Oberdörster, "Pulmonary Effects of Inhaled Ultrafine Particles," *International Archives of Occupational and Environmental Health* 74 (January 1, 2001): 1–8, <https://doi.org/10.1007/s004200000185>.

¹¹ Delfino Ralph J., Sioutas Constantinos, and Malik Shaista, "Potential Role of Ultrafine Particles in Associations between Airborne Particle Mass and Cardiovascular Health," *Environmental Health Perspectives* 113, no. 8 (August 1, 2005): 934–46, <https://doi.org/10.1289/ehp.7938>.

¹² Chia-Pin Chio and Chung-Min Liao, "Assessment of Atmospheric Ultrafine Carbon Particle-Induced Human Health Risk Based on Surface Area Dosimetry," *Atmospheric Environment* 42, no. 37 (December 1, 2008): 8575–84, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.08.027>.

¹³ Stefanie Lanzinger et al., "Associations between Ultrafine and Fine Particles and Mortality in Five Central European Cities — Results from the UFIREG Study," *Environment International* 88 (March 1, 2016): 44–52, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.006>.

¹⁴ Evangelia Samoli et al., "Exposure to Ultrafine Particles and Respiratory Hospitalisations in Five European Cities," *European Respiratory Journal* 48, no. 3 (August 31, 2016): 674, <https://doi.org/10.1183/13993003.02108-2015>.

¹⁵ Richard W Baldauf et al., "Ultrafine Particle Metrics and Research Considerations: Review of the 2015 UFP Workshop," ed. Doug Brugge, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13, no. 11 (November 2016): 1054, <https://doi.org/10.3390/ijerph13111054>.

¹⁶ https://www.atmo-hdf.fr/sites/hdf/files/medias/documents/2022-06/Rapport_BePoPi_2021.pdf

¹⁷ K Donaldson et al., "Ultrafine Particles," *Occupational and Environmental Medicine* 58, no. 3 (March 1, 2001): 211, <https://doi.org/10.1136/oem.58.3.211>.

exemple principalement dues à des sources liées au transport aérien, fluvial ou routier (aéroports, ports ou routes), à des sites industriels ou au chauffage domestique).

2.2. Stratégie régionale

Depuis 2017, Atmo a défini une stratégie de surveillance des particules ultrafines dans la région Hauts-de-France (2017-2021¹⁸). Ce document présente l'état de l'art sur les particules ultrafines dans un premier temps ; les enjeux et les objectifs dans la région Hauts-de-France, le plan d'actions, et la proposition des sites de mesure sont définis dans la deuxième partie. A partir de 2021, une mesure PUF a été retenue dans la région en fixe (mesure sous influence trafic à Lille), en plus des campagnes ponctuelles (CAPARA). En 2024, l'adoption de la nouvelle directive de 2030 avec l'introduction de la surveillance des particules ultrafines, a conduit ATMO à adapter sa stratégie de surveillance pour mieux comprendre la variation des particules ultrafines dans le temps et dans les différentes typologies de la région ; 3 mesures fixes ont été introduites dans la stratégie de surveillance, en plus de 6 points de mesures ponctuelles dans le cadre de projet AQAH.



Figure 2 Points de mesures PUF dans la région Hauts-de-France en 2025

2.3. Objectifs

Comme définie dans la stratégie régionale, la surveillance des particules ultrafines s'inscrit dans les actions d'Atmo Hauts-de-France menées pour l'amélioration des connaissances sur les particules.

Les objectifs principaux de cette étude sont :

- Faire un état de lieu des mesures des particules ultrafines dans la région faites entre 2018 et 2024.
- Comparer les niveaux des PUF dans les Hauts-de-France par rapport aux autres régions.
- Alimenter la documentation et la comparaison du niveau de concentration et la distribution de taille des PUF sur les différentes typologies du territoire, avec des mesures plus récentes.
- Mieux comprendre l'évaluation temporelle (journalière, saisonnière) des PUF.

¹⁸ Atmo Hauts-de-France, "Stratégie « particules Ultrafines » Pour La Region Hauts-de-France (2017-2021)" (N°01/2017/SZ, June 2017).

2.4. Période et sites d'étude

Dans ce rapport, l'interprétation des données des particules ultrafines sur une période longue est effectuée. Un rappel sur l'historique de mesures est fait (entre 2018-2022), avec un focus sur une période de mesures plus récente (2023-31/10/2024).

Pour rappel, entre 2018 et 2022, plusieurs sites avec des typologies différentes ont été étudiés :

- 2 sites urbains sous influence trafic (Lille Leeds et Valenciennes)
- 1 site urbain sous influence industrielle (Grande-Synthe)
- 2 sites urbains de fond (Creil et Calais)
- 1 site rural de fond (Campagne-lès-Boulonnais)

De plus, les sites étudiés entre 2023 et 31/10/2024 sont :

- 2 sites urbain sous influence trafic (Lille Leeds et Roubaix Serres)
- 2 sites ruraux de fond (Hondegheem et La Neuville)
- 1 site urbain de fond (Tourcoing Houpline)

En résumé, les différentes stations de mesure, leurs implantations, les influences environnantes ainsi que les années de mesures sont indiquées dans le Tableau 1.

Tableau 1 Localisation, influence et années de mesures

Station	Implantation	Influence	Années	Type de mesures
Lille Leeds	Urbaine	Trafic	2018-2022	Concentration totale + Granulométrie
			2023	Concentration totale
Roubaix Serres	Urbaine	Trafic	2024*	Concentration totale
Tourcoing Houpline	Urbaine	Fond	2024*	Concentration totale
Creil	Urbaine	Fond	2018	Concentration totale + Granulométrie
Grande-Synthe	Urbaine	Industrielle	2018	Concentration totale + Granulométrie
Dunkerque port	Périurbaine	Portuaire	2019	Concentration totale + Granulométrie
Calais	Urbaine	Fond	2019	Concentration totale + Granulométrie
Valenciennes	Urbaine	Trafic	2019	Concentration totale + Granulométrie
Campagne-lès-Boulonnais	Rurale régionale	Fond	2018-2019	Concentration totale + Granulométrie
Hondegheem	Rurale	Fond	2023	Concentration totale + Granulométrie
La Neuville sur Oudeuil	Rurale	Fond	2024*	Concentration totale + Granulométrie

*Mesures obtenues jusqu'à 31/10/2024



3. Résultats de l'étude

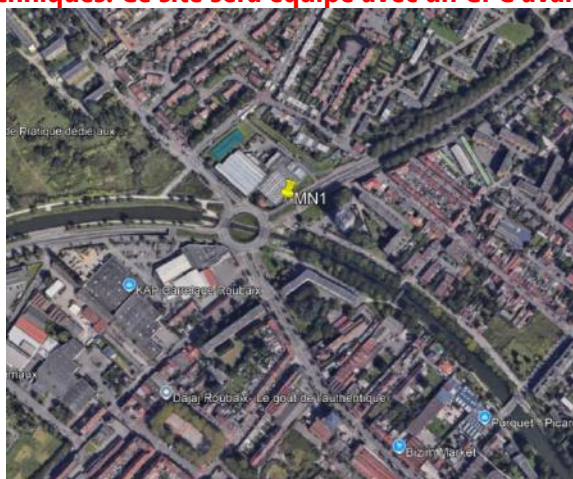
3.1. Mesures des PUFs en 2024

3.1.1. Localisation

En 2024 (jusqu'au 31/10/2024), Atmo HdF a équipé 3 sites avec des mesures fixes en Particules UltraFines (mesures en concentrations totales uniquement) et 1 site avec des mesures ponctuelles (mesures en concentrations totale et granulométrie). Pour rappel, ces sites sont :

- Roubaix Serres ; Urbain sous influence trafic (MN1)
- Tourcoing Houpline ; Urbain de fond (MN8)
- ~~Calais Berthelot ; Urbain de fond (CA8)~~
- La Neuville sur Oudeuil ; Rural de fond

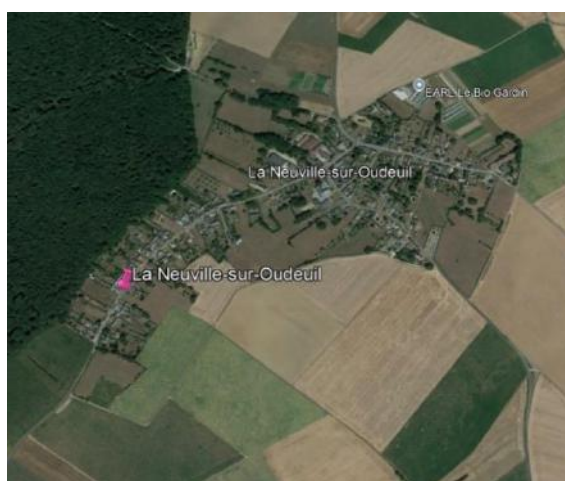
A noter que le site de Calais n'est pas inclus dans l'interprétation des données pour cause de problèmes techniques. Ce site sera équipé avec un CPC avant la fin de 2024.



Roubaix Serres - Trafic



Tourcoing Houpline – Fond Urbain



La Neuville-sur-Oudeuil – Fond Rural

Figure 3 : Localisation de stations des mesures en PUF en 2024.

3.1.2. Concentrations moyennes

Les concentrations totales en nombre de particules en 2024 révèlent le classement suivant : Au sommet le site urbain sous influence trafic, suivi par le site urbain de fond, puis le site rural de fond. Les concentrations moyennes mesurées sont 11 574 particules/cm³, 7 720 particules/cm³ et 2 873 particules/cm³ respectivement (Figure 4).

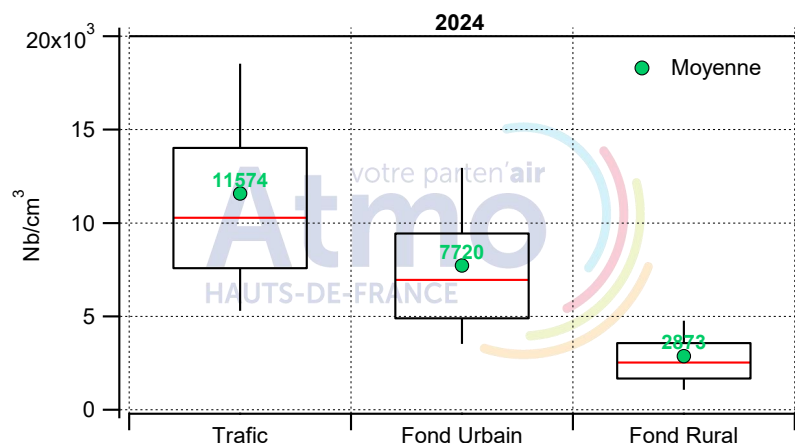


Figure 4 : Concentrations en particules PUFs en 2024 par typologie du site.

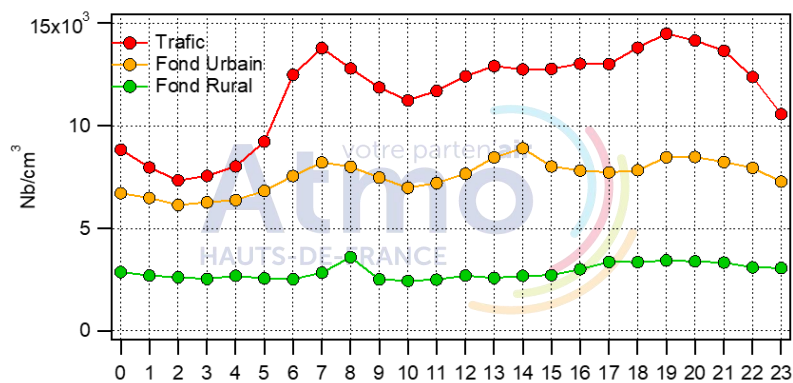
3.1.3. Profils journaliers

Les profils journaliers sont présentés ci-dessous. Le site trafic présente un pic matinal lié aux déplacements quotidiens (trajet domicile-travail). Les concentrations restent ensuite élevées pendant la journée avant le deuxième pic de la fin d'après-midi lié également au trajet domicile-travail. Ce profil est similaire avec le profil du NO (traceur de trafic ; Annexe 3)

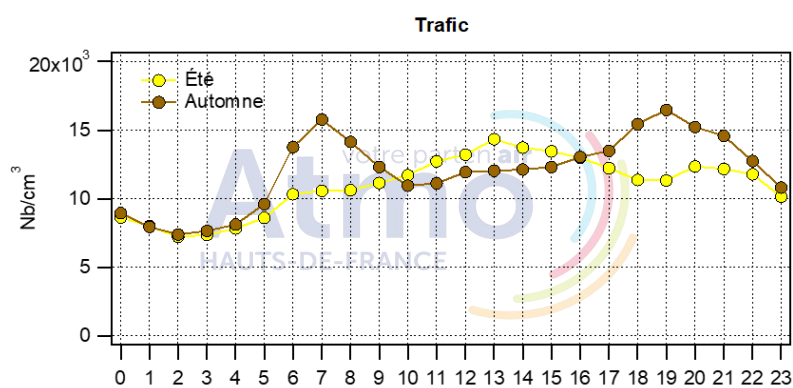
Le profil du site urbain de fond suit la même tendance du site trafic avec des concentrations moins importantes et une variation moins évidente. Le pic matinal et celui pendant la soirée suivent également les profils du black carbon lié au trafic (BCff) et au chauffage au bois (BCwb). Ce profil est plus distinct pendant la période d'automne, alors qu'en période estivale les concentrations restent plus élevées pendant la journée avec l'apparition d'un 3^{ème} pic. Les concentrations estivales élevées pendant la journée peuvent être justifiées avec la formation des nouvelles particules sous un ensoleillement plus important, parmi d'autres sources (résidentielles, trafic etc). Pour la phase automnale, le profil s'explique également par des conditions matinales / fin de journée moins dispersives (plus des inversions de température favorisant la stagnation des polluants) qui accentue l'effet des émissions en hausse avec notamment la baisse des températures. Enfin, en période estivale, on remarque une baisse des émissions du trafic (par exemple pendant les vacances scolaires), qui impacte également l'amplitude des pics matinales et à la fin de journée.

Enfin, le site rural montre une variation plus homogène, avec un pic matinal qui est observé pendant le printemps et l'automne. En revanche, les concentrations restent plus élevées pendant la fin d'après-midi en été. L'interprétation des données de cette station seront exploitées plus en détail dans le cadre du projet Capara (rapport intermédiaire prévu pour fin février).

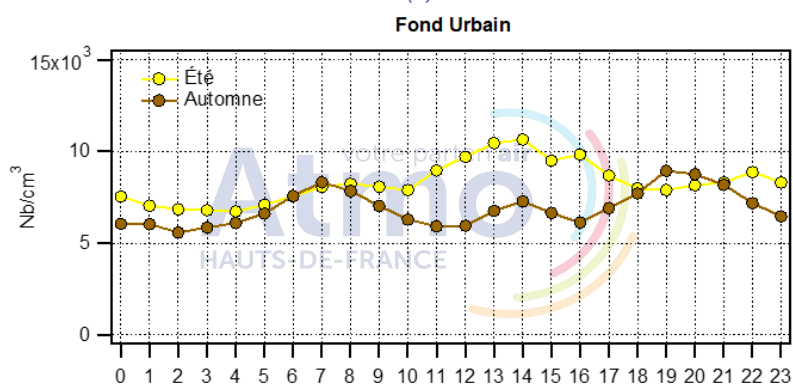
A titre indicatif, le profil journalier d'insolation et de la température ambiante du site Météo France à Beauvais-Tillé est présenté sur Annexe 3.



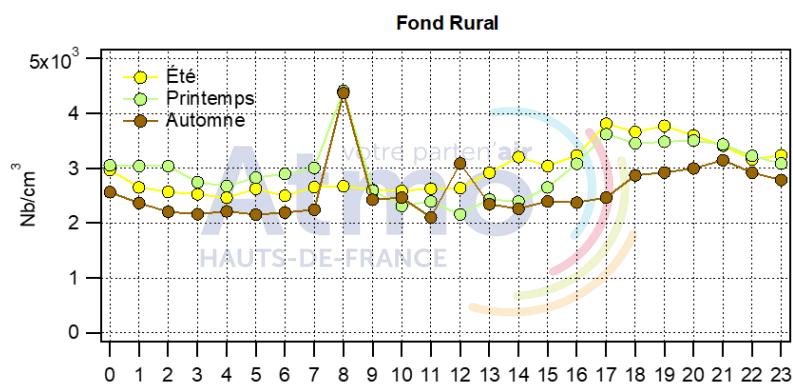
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5 : Profil journalier sur la base (a) annuelle et (b, c, d) saisonnière des PUFs par site (échelles différentes).

3.1.4. Géolocalisation des sources

Roubaix Serres

Les roses de pollution (guide de lecture d'une rose de pollution sur Annexe 2) sont présentées dans la figure suivante. Les PUF montrent une concentration plus élevée dans les directions N-NO-O ($> 15\,000$ particules/cm³) ainsi que les directions SO et E, correspondant bien à la direction des boulevards (M765, M760) autour du rond-point. La concentration moyenne ($\sim 10\,000$ particules/cm³) se retrouve quant à elle dans toutes les directions et pour toutes les vitesses du vent.

Les 2 polluants liés aux émissions trafic (NO₂ et NO) montrent une direction similaire aux PUF. Le NO présente toutefois une influence plus locale du trafic sous les directions O-NO et E-SE. Ses concentrations réduisent largement sous les autres directions et sous l'influence de vent plus forts, c-à-d en s'éloignant des boulevards. Le NO₂ montre une distribution homogène avec une concentration élevée ($> 30\,\mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondant au trafic local et un niveau de fond ($15\,\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans toute la zone urbaine. Enfin, les PM25 montrent les concentrations plus élevées sous les vents de direction N-NE (source locale et plus lointaine) où les PUFs sont plutôt au niveau de fond.

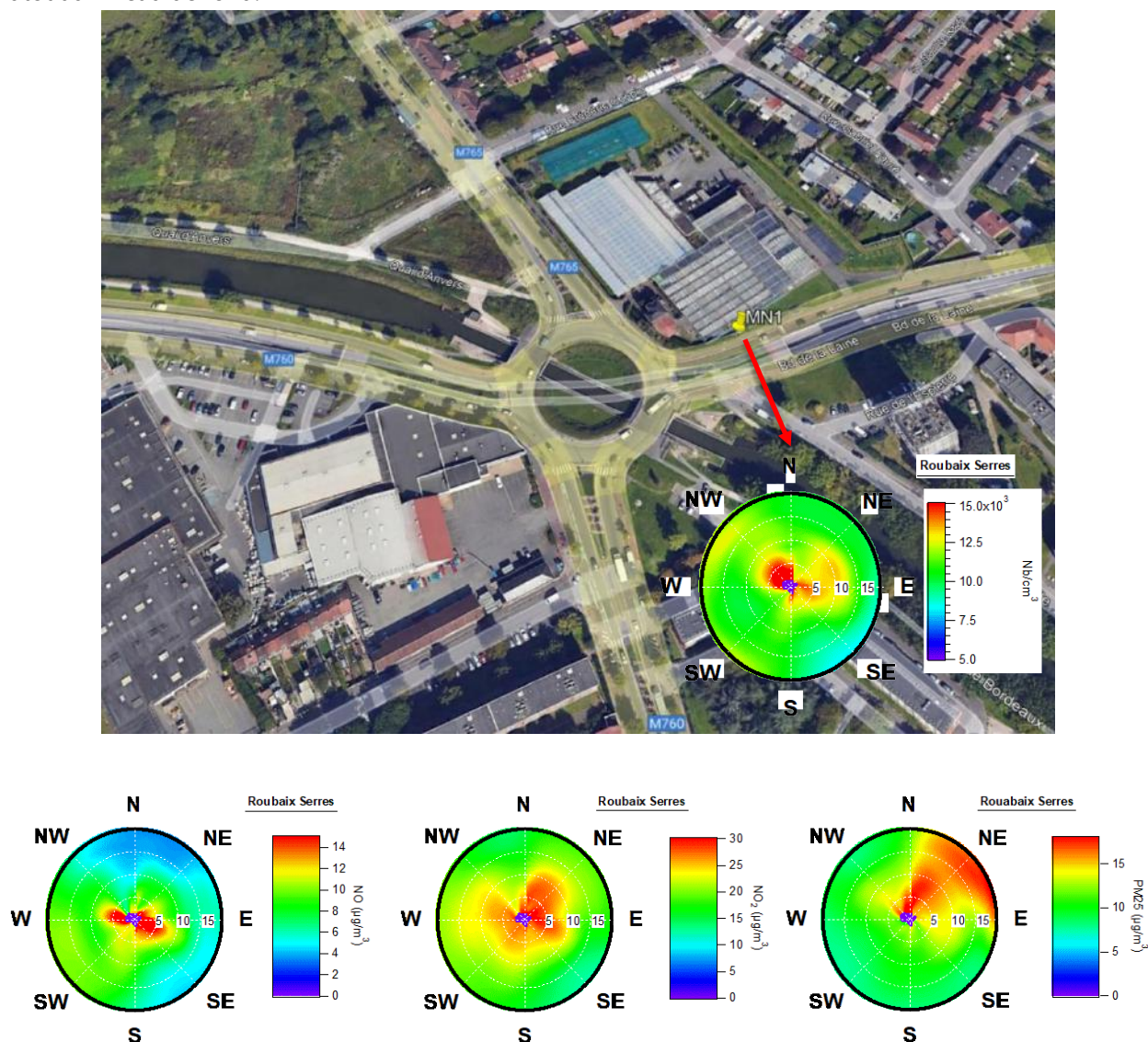


Figure 6 : Roses de pollution des PUF (sur la carte), du NO (gauche), du NO₂ (milieu) et des PM2.5 (droite) à Roubaix Serres.

Tourcoing Houpline

Les roses de pollution pour ce site de fond urbain sont présentées dans la figure suivante. Les PUF montrent une concentration plus élevée dans la direction NO très locale ($> 12\,000$ particules/cm³). On remarque deux nuages : le premier autour des concentrations 9 000 particules/cm³ sous la direction du NO à E et le deuxième autour des concentrations 6 000 particules/cm³ vers les secteurs d'ouest à l'est. Cette différence peut être justifiée par l'impact du boulevard périphérique de Tourcoing M770 sur le nord de la station (concentrations plus élevées également du black carbon lié aux fuels fossiles, ainsi que du monoxyde d'azote). Cependant, la source très locale du secteur NO est potentiellement liée d'autres sources à Tourcoing Houpline, comme le chauffage au bois (BC_{wb}) ou la formation des particules secondaires qui ensuite grossissent en s'agglomérant (source locale observée pour la même direction en particules PM1 et PM25).

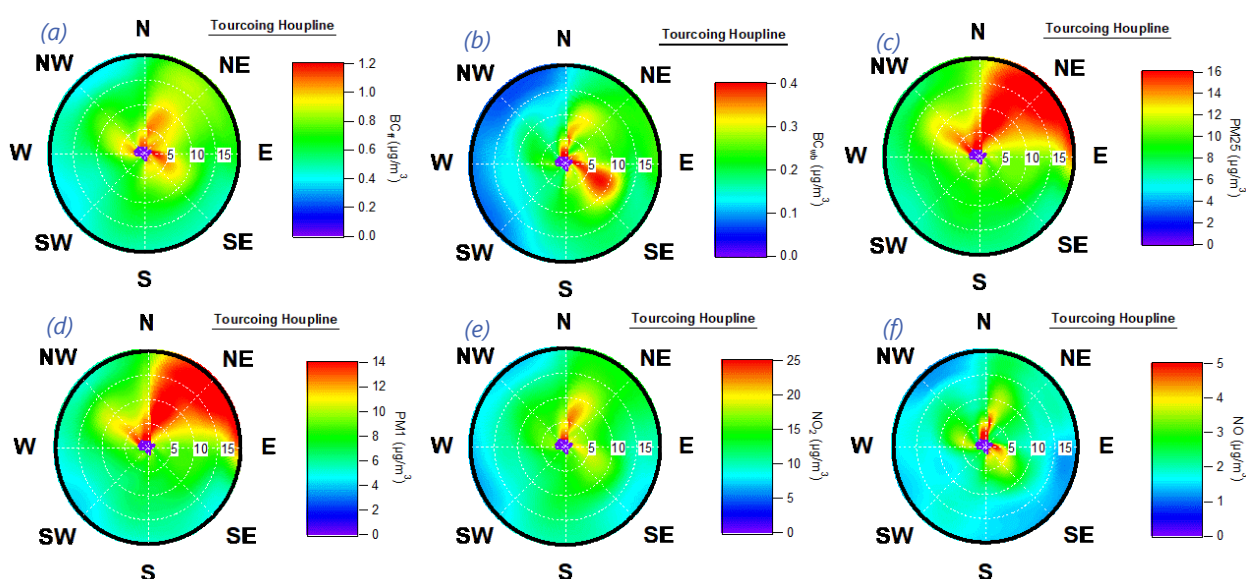
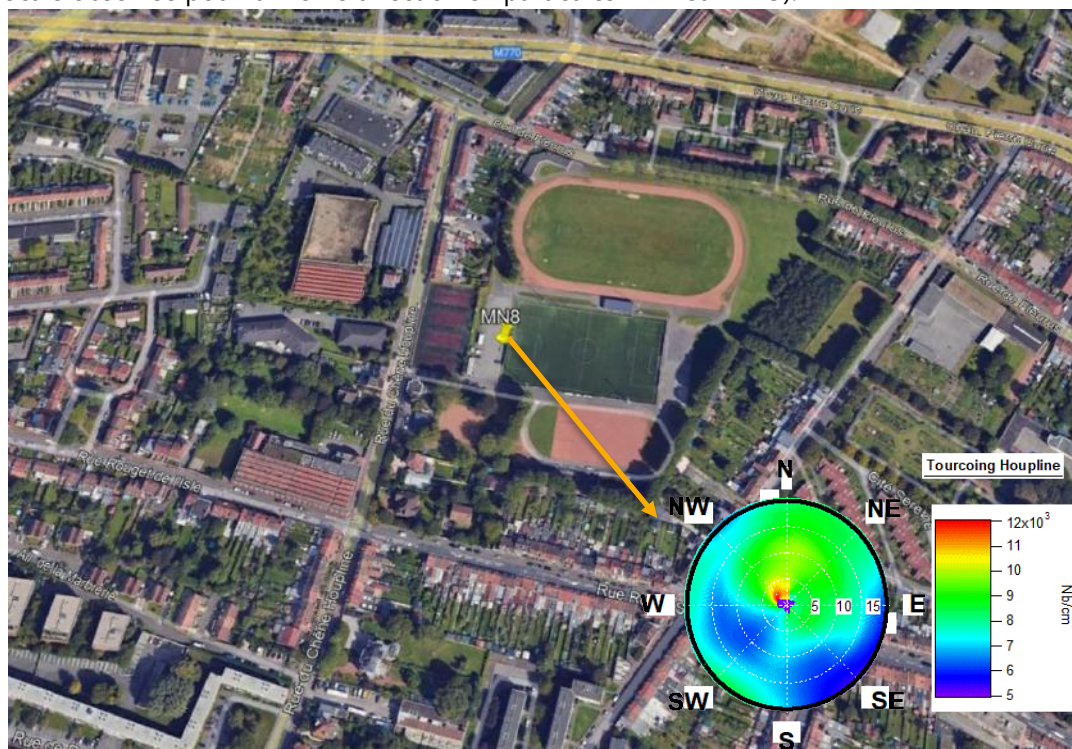


Figure 7 : Roses de pollution des PUF (sur la carte), du BC_{ff} (a) et BC_{wb} (b), des PM2.5 (c) et des PM1 (d), du NO₂ (e) et du NO (f) et à Tourcoing Houpline

La Neuville-sur-Oudeuil

Les roses de pollution pour ce site de fond rural sont présentées dans la figure suivante. Les PUF montrent une concentration plus élevée par différentes directions : des sources très locales vers Nord et Nord-Est, alors que les sources plus lointaines se trouvent au Sud-Est. Ce site fera objet d'un rapport complet dans le cadre du projet CAPARA.

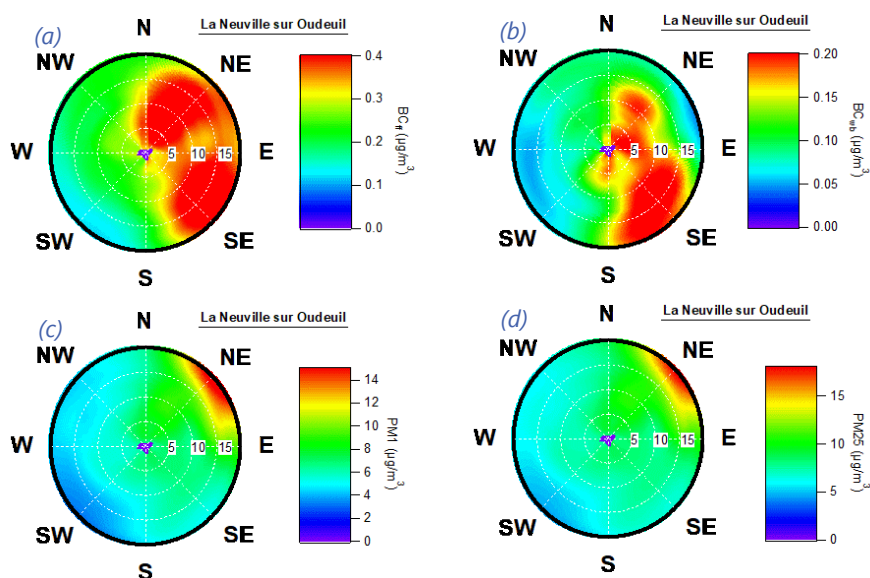
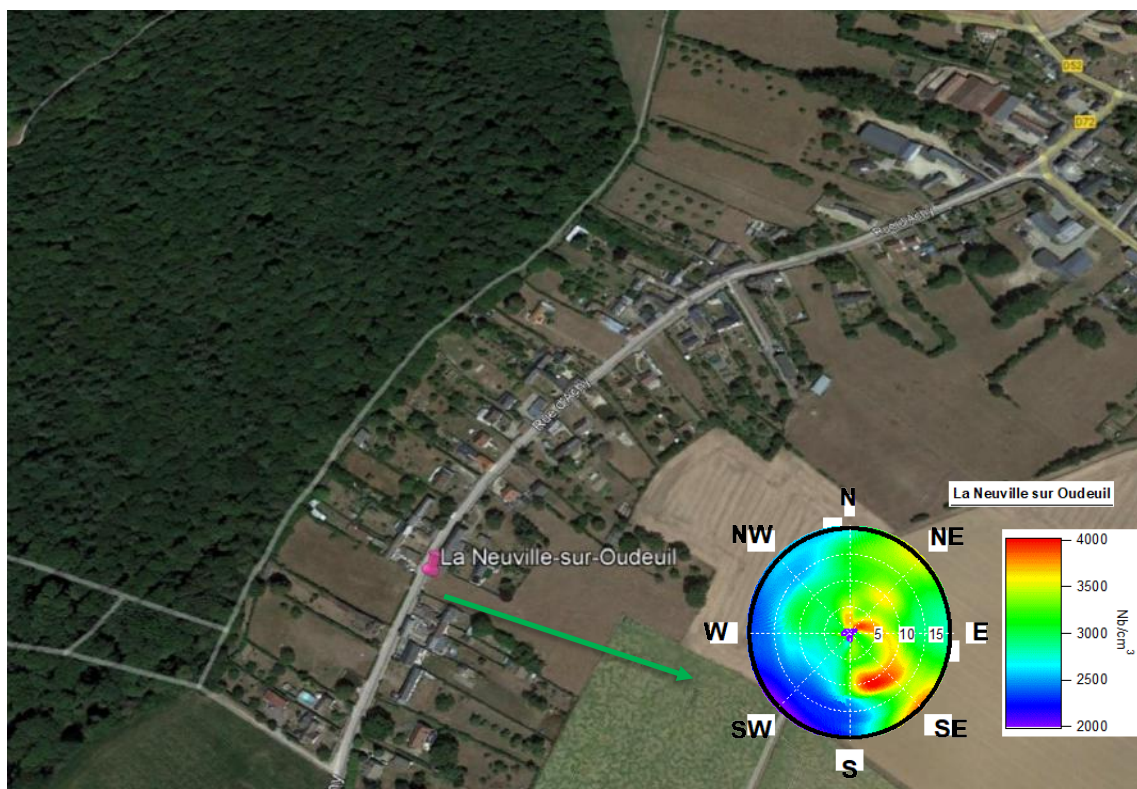


Figure 8 : Roses de pollution des PUF (sur la carte), du BC_{ff} (a) et BC_{wb} (b), des $PM1$ (c) et des $PM2.5$ (d) à La Neuville-sur-Oudeuil.

3.2. Concentration totale en nombre de particules

La concentration totale en nombre de particules pendant les différentes années est étudiée, avec une distinction par typologie du site pour les années 2018-2024. Cette concentration moyenne est soit la somme des particules mesurées par l'UFP 3031 dans les six classes de taille, soit le nombre des particules total mesuré par le CPC (minimum 10nm ; mesures en carré). La figure suivante montre une **tendance à la hausse pour les sites sous influence trafic et les sites urbains de fond**. Au contraire, les **sites ruraux de fond montrent une tendance à la baisse** entre 2018-2019 et récemment (2023-2024). En ce qui concerne le site sous influence industrielle et celui sous influence portuaire, peu des conclusions peuvent être tirées actuellement.

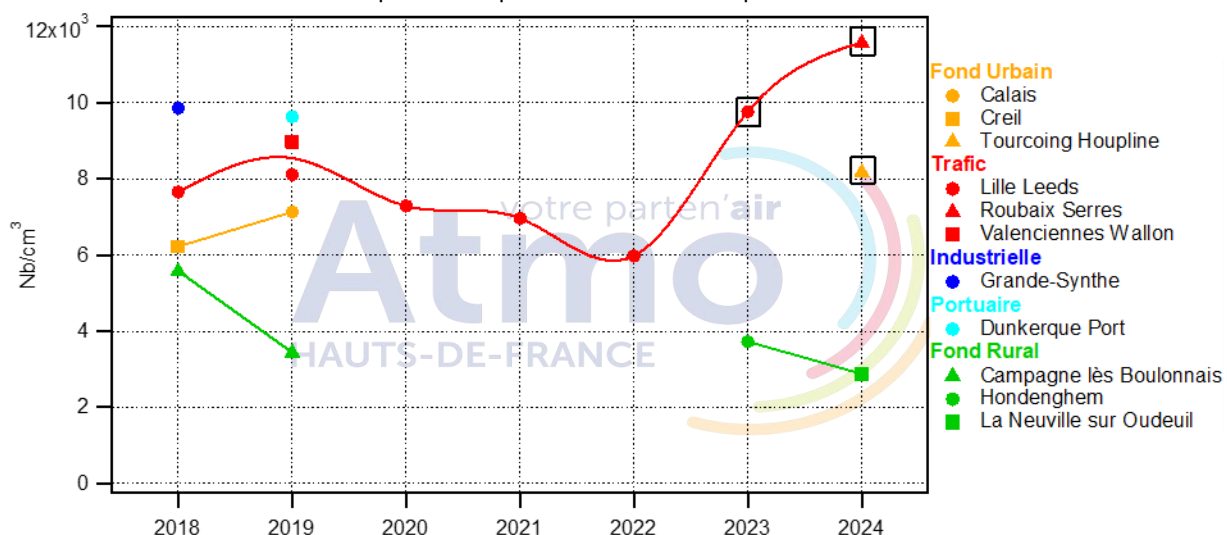


Figure 9 : Concentrations moyennes par typologie du site.

3.3. Distribution en tailles de particules

La distribution en taille de particules est étudiée, également avec une distinction par typologie du site. Pour cette analyse, une moyenne a été calculée par typologie en prenant en compte toutes les années, dont des années plus récentes (Tableau 1). Pour les sites urbains de fond, ruraux de fond et sous influence trafic, où plusieurs sites ont été pris en compte, les valeurs minimales et maximales observées sont également affichées dans la figure suivante (surface colorée). A noter qu'en 2024, seul le site rural à La Neuville est équipé avec une mesure granulométrique des PUFs. Cette mesure sera introduite dans plusieurs sites (dont la MEL) à partir de 2025 dans le cadre de projet AQAH.

En général, un classement est établi, mettant en évidence les concentrations industrielles et portuaires plus élevées, suivies par les sites urbains sous influence trafic. En 3^{ème} position se trouvent les sites urbains de fond, et enfin les sites ruraux qui affichent les concentrations plus basses.

Sites ruraux < Sites urbain de fond < Sites urbain sous influence trafic < Sites sous influence industrielle ou portuaire

Les conclusions tirées par cette analyse granulométrique sont principalement les suivantes¹⁹:

- Le chauffage au bois pourrait contribuer une quantité importante des particules entre 100-200 nm en période froide. Mais les autres sources (e.g. trafic routier) pourraient aussi contribuer à cette classe de PUF.
- Le trafic routier est la source principale dans les sites urbains. Ce sont les PUF primaires. Cette conclusion est mise en évidence sur le graphique suivant où les courbes orange (fond urbain) et trafic (rouge) sont très proches avec une évolution granulométrique similaire.
- Les émissions industrielles et par les bateaux se trouvent dans les tailles 20-50 nm. A Dunkerque Port, les PUF sont principalement dues aux passages de bateaux en été et aux émissions industrielles en hiver. A Calais, les PUF émises par des activités portuaires sont principalement présentes au printemps.
- La formation de nouvelles particules se produit souvent en période estivale avec un fort ensoleillement qui favorise les réactions photochimiques. Les particules nouvellement formées se trouvent dans la classe 20-30 nm (limite de détection de l'instrument). Ce sont des particules secondaires qui se forment dans l'atmosphère à partir des précurseurs gazeux.

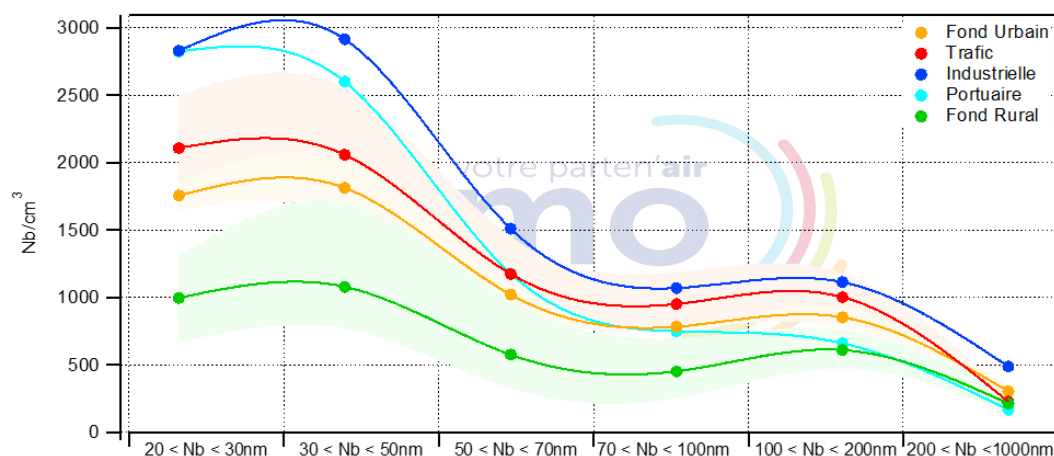


Figure 10 : Comparaison du nombre de particules par la classe de taille et par typologie du site.

3.4. Comparaison avec d'autres AASQAs

La figure suivante montre les concentrations moyennes totales des particules ultrafines mesurées au niveau national pour toutes typologies confondues pour chaque année. Les valeurs maximales et minimales sont également présentées dans cette figure. **Les concentrations présentées sont issues des mesures avec des appareils CPC en mesurant les particules totales avec une taille soit supérieure de 7nm, soit supérieure à 10nm.** Au regard l'importance de la contribution du nombre des particules entre 7 et 10 nm, la figure suivante présente les deux types des données séparées. Les concentrations sont issues des données Geod'air pour les années entre 2021 et 2024 (jusqu'au 31/10/2024).

Les moyennes régionales annuelles des concentrations en particules PUF des AASQA sont comprises entre 2 887 particules/cm³ (Air Breizh) et 19 919 particules/cm³ (Atmo Sud). Les valeurs les plus élevées sont atteintes par Atmo Sud en 2022 avec une concentration à 116 855 particules/cm³ en moyenne journalière. Sinon, les concentrations journalières maximales sont comprises entre 8 200 (Qualitair Corse) et 67 724 particules/cm³ (Atmo Sud).

¹⁹https://www.atmo-hdf.fr/sites/hdf/files/content/migrated/Rapport_et_synthese_etudes/2020/Rapport_PUF_2019.pdf

Globalement, les moyennes régionales annuelles en particules PUF pour la région Hauts-de-France sont dans la gamme haute par rapport aux autres régions, à l'exception de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ces concentrations sont mesurées dans la Métropolitain Européenne de Lille.

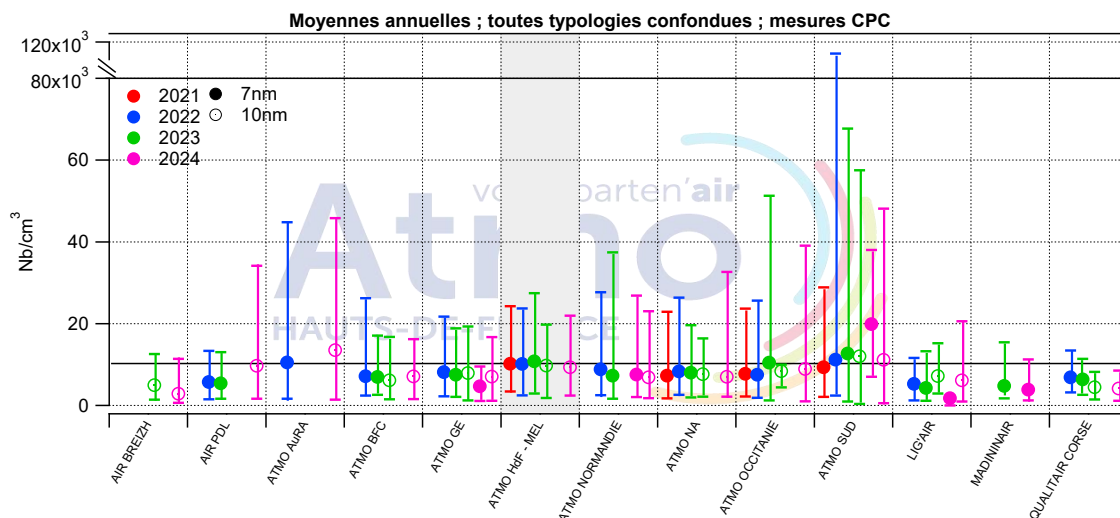


Figure 11 : Comparaison du nombre de particules en moyenne annuelle avec d'autres AASQAs.

4. Conclusion et perspectives

Cette étude présente la documentation du niveau des particules ultrafines et leur granulométrie dans la région Hauts-de-France. Un historique des mesures des PUF effectuées depuis 2017 a été montré avec une complémentarité des mesures faites en 2024.

Les résultats obtenus indiquent que les concentrations moyennes des PUF varient entre 2 900 – 11 600 particules par centimètre cube d'air (Nb/cm³) en 2024 avec une moyenne autour de 7 700 particules par centimètre cube d'air en fond urbain. Le site en proximité trafic montre une concentration plus élevée que les sites de type urbain et rural.

Les sources principales des PUF des 3 sites ont été recherchées :

A Lille, le trafic et le chauffage au bois sont les deux sources principales de PUF en milieu urbain. En été, la formation des nouvelles particules est une source supplémentaire en lien avec les réactions photochimiques dans l'atmosphère.

A la Neuville-sur-Oudeuil, la variation des concentrations est plus homogène, avec un pic matinal qui est observé au printemps et à l'automne. En revanche, les concentrations restent plus élevées en fin d'après-midi en été. Les sources des particules ultrafines seront étudiées plus profondément dans le cadre du projet Capara (rapport intermédiaire prévu pour fin février)

En perspective, Atmo Hauts-de-France continue la surveillance fixe des PUFs sur 3 sites de mesure : 1 site sous influence trafic à Lille et 2 sites de fond urbain, un à Tourcoing Houpline et le 2^{ème} à Calais Berthelot. De plus, de nouvelles campagnes d'observation se poursuivent dans la région en 2025 sur 6 territoires supplémentaires : Grande-Synthe (industrielle), Creil (fond urbain et industrielle), Douai (fond urbain), Vexin-Thelle (fond rural), Compiègne (fond urbain) et Hauts-de-Flandre (fond rural) afin de mieux comprendre les sources principales des PUF. Pendant les épisodes de pollution, la mesure des PUF peut nous aider à comprendre la nature d'épisode : par les émissions primaires locales (trafic, chauffage ou industriel) ou par les réactions photochimiques (formation de l'ozone).

5. Annexes

Annexe 1 : Glossaire

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

μm : micromètre. $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm} = 0,001$ millimètre.

nm : nanomètre. $1 \text{ nm} = 0,001 \mu\text{m} = 10^{-9} \text{ m}$.

AASQA : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air.

Anthropique : Relatif à l'activité humaine. Qualifie tout élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme.

Concentration : la concentration d'un polluant représente la quantité du composé présent dans l'air et s'exprime en masse par mètre cube d'air. Les concentrations des polluants caractérisent la qualité de l'air que l'on respire.

Conditions de dispersion : ensemble de conditions atmosphériques permettant la dilution des polluants dans l'atmosphère et donc une diminution de leurs concentrations (vent, température, pression, rayonnement...).

Emissions : rejets d'effluents gazeux ou particulaires dans l'atmosphère issus d'une source anthropique ou naturelle (exemple : cheminée d'usine, pot d'échappement, feu de bioamasse...).

Episode de pollution : période pendant laquelle la procédure d'information et d'alerte a été déclenchée traduisant le dépassement du niveau d'information et de recommandations voire du niveau d'alerte pour l'un ou plusieurs des polluants suivants : SO_2 , NO_2 , O_3 et PM_{10} .

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

NH_3 : Ammoniac

NO_2 : dioxyde d'azote.

NO_x : oxydes d'azote.

O_3 : ozone.

PM_{10} : particules en suspension de taille inférieure ou égale à $10 \mu\text{m}$.

$\text{PM}_{2.5}$: particules en suspension de taille inférieure ou égale à $2,5 \mu\text{m}$.

Polluant primaire : polluant directement émis par une source donnée.

Polluant secondaire : polluant non émis directement, produit de la réaction chimique entre plusieurs polluants présents dans l'atmosphère.

PUF : Particules ultrafines

PRSQA : Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air.

SO_2 : dioxyde de soufre.



Annexe 2 : Matériels et méthodes

UFP 3031

Le granulomètre de type UFP 3031 a été développé par la société TOPAS dans le cadre du projet européen UFIPOLNET. Cet appareil est commercialisé par la société TSI, la production étant assurée par la société TOPAS (Allemagne). Il a été choisi par l'ensemble des membres du Groupe de Travail PUF en France pour des raisons de surveillance harmonisée. Mais récemment, d'autres instrumentations comme le CPC (condensation particle counter) ou le SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) ont aussi été utilisées pendant cette étude et dans les autres AASQAs (Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air).

L'UFP 3031 a été spécifiquement conçu pour les réseaux de surveillance en continu à long terme. Cet instrument est constitué de deux parties, d'une part le tri des particules par classe de taille et d'autre part leur dénombrement par un électromètre.

Ses caractéristiques principales sont :

- Mesure de la concentration en nombre de particules entre 20 nm et 800nm ;
- Mesure de la granulométrie de particules par six canaux de taille : (20-30nm ; 30-50nm ; 50-70nm ; 70-100nm ; 100-200nm ; 200-800nm).

Les avantages de cet instrument par rapport un SMPS classique sont :

- 1) il utilise un chargeur à effet couronne au lieu d'une source radioactive, donc ne requiert aucune licence spéciale pour se déplacer ;
- 2) le comptage des particules est effectué par un électromètre à la place de compteur à noyaux de condensation, évitant l'utilisation de butanol.

Mais ses limites principales sont :

- 1) ne pas fournir les informations pour les particules inférieures à 20 nm, qui sont très importantes en nombre ;
- 2) n'est pas une méthode normalisée par le CEN (Comité européen de normalisation) ;
- 3) moins de canaux par rapport un SMPS classique.

Il existe un guide « recommandations techniques pour l'utilisation du granulomètre UFP 3031 » rédigé par le LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air), qui apporte des recommandations nécessaires à la mise en œuvre de cet appareil, basées sur le retour d'expériences des utilisateurs français.

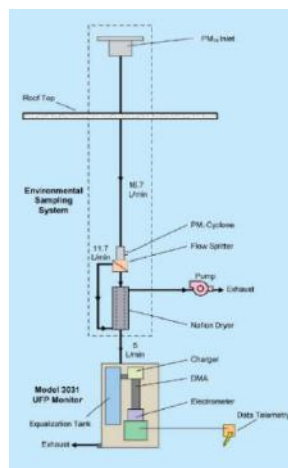


Photo et schéma d'installation d'UFP 3031 (source : manuel UFP 3031, version 2011)

Condensation Particle Counter (CPC)

L'ENVI-CPC est un compteur de noyaux de condensation fabriqué par la société allemande PALAS. Il permet la mesure de la concentration totale des aérosols ultrafins, également dénommés Particules Ultra Fines (PUF) ou nanoparticules, dans l'air ambiant. Le principe de fonctionnement est basé sur le grossissement de ces aérosols par condensation d'un fluide (typiquement butanol) avant un comptage une à une des gouttelettes par détection optique (photomultiplicateur).

Ses caractéristiques principales sont :

- Mesure de la concentration en nombre de particules à partir de 7 ou 10 nm selon le modèle qui sont très importantes en nombre ;
- C'est une méthode normalisée par le CEN (Comité européen de normalisation ; CEN/TS 16976)

Mais sa limite principale est qu'il ne fournit pas les informations d'une distribution granulométrique.



Photo du CPC (Source : Manuel d'utilisation, Addair, Version juin 2020)

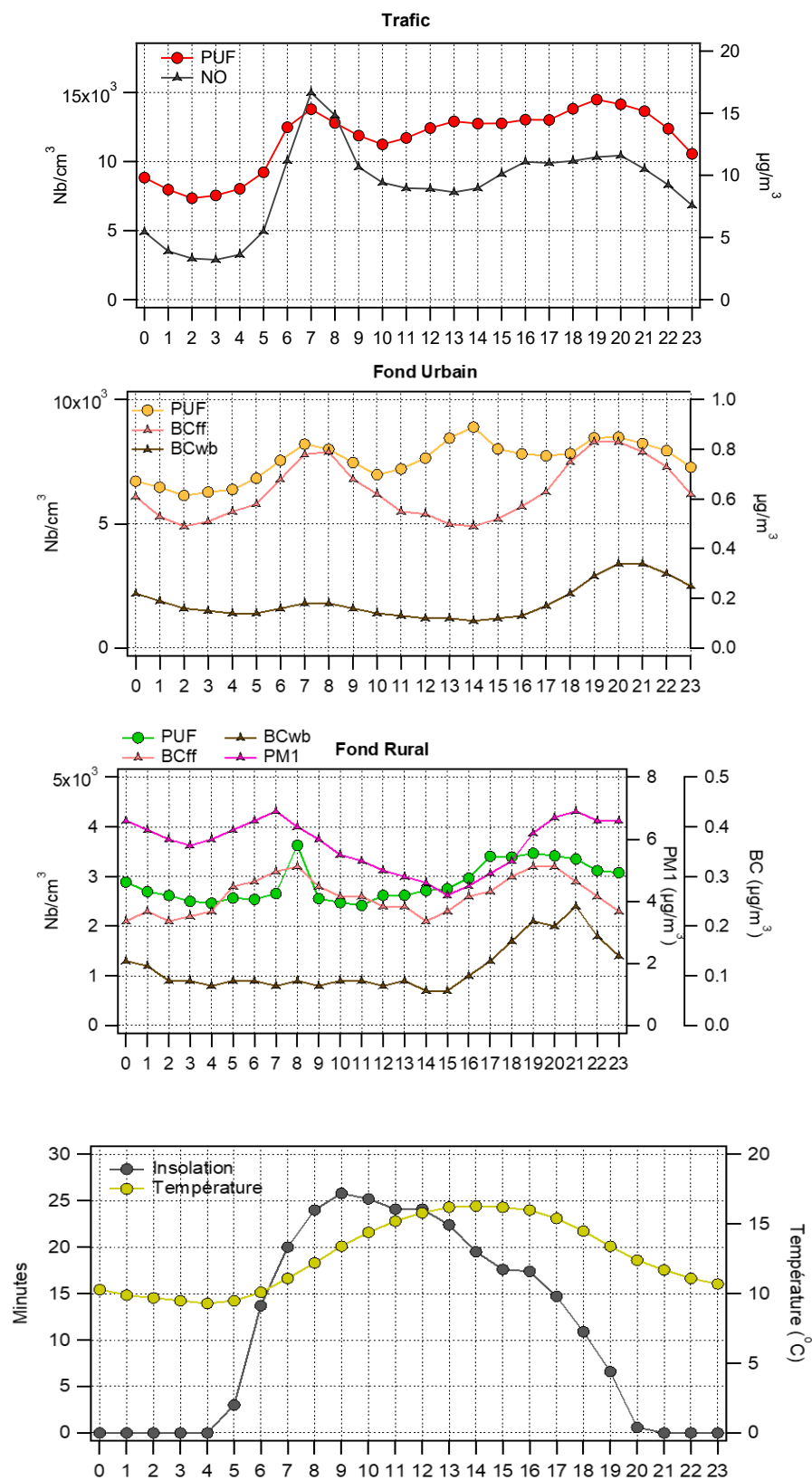
Analyse du vent par la méthode NWR

Les roses de pollution dans cette étude sont basées sur la méthode NWR (*Non-parametric wind regression*) et réalisées par le logiciel Zefir. Cette méthode permet de combiner la concentration des polluants avec la mesure de la vitesse et la direction du vent. Le principe est de lisser les données sur une grille très fine, afin d'avoir une concentration estimée pour chaque direction et vitesse du vent définie. La concentration associée avec le vent < 1 m/s n'est pas prise en compte, car la direction du vent n'est pas représentative.

Guide de lecture d'une rose de pollution :

- La rose de pollution associe une concentration mesurée à une direction et une vitesse de vent.
- Les directions sont indiquées en abréviation, c'est la direction d'où vient le vent.
- La vitesse des vents est indiquée en km/h par les cercles concentriques par pas de 5km/h.
- Les couleurs indiquent la concentration de la source : du bleu au rouge respectivement pour des concentrations minimales à maximales.
- L'échelle varie selon la source.
- Une tâche rouge au centre du graphique (associée avec des vents faibles) indique une contribution locale importante ; une tâche rouge en périphérie du graphique (associée avec des vents forts) indique une contribution lointaine importante

Annexe 3 : Profils journaliers d'autres polluants





RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmo-hdf.fr

Atmo Hauts-de-France

Observatoire de l'Air

199, rue Colbert – Bâtiment Douai

