

RAPPORT D'ETUDE

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

Rapport N°02/2018/SZ/01

Etude menée en 2018/2019

Auteur : Shouwen ZHANG
Vérificateur : Nathalie DUFOUR
Diffusion : 18 octobre 2019



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 au 31 décembre 2019, 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 métrologiques 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°02/2018/SZ/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	Nathalie Dufour	Responsable du Service Etudes	

Version du document : V1 basé sur trame vierge : EN-ETU-20

Date d'application : 18/07/2019

Sommaire

1. Synthèse de l'étude.....	6
2. Enjeux et objectifs de l'étude	8
2.1. Introduction PUF	8
2.2. Stratégie régionale et nationale	10
2.3. Objectifs.....	10
3. Matériels et méthodes.....	11
3.1. Stations de mesures	11
3.2. Instrumentation	12
3.3. Analyse du vent par la méthode NWR.....	13
4. Contexte environnemental	14
4.1. Stations de mesure	14
4.2. Contexte météorologique.....	16
5. Résultats de l'étude	18
5.1. Concentration en nombre et distribution en tailles de particules.....	18
5.2. Corrélation avec les autres polluants.....	22
5.3. Influence du trafic	24
5.4. Formation de nouvelles particules.....	30
5.5. Influence du chauffage au bois.....	34
5.6. Source industrielle et portuaire	40
5.7. Épisode de pollution	45
6. Conclusion et perspectives.....	48

Annexes

Annexe 1 : Glossaire.....	50
Annexe 2 : Concentration en nombre des PUF moyenne dans les autres stations en France	51
Annexe 3 : Corrélation entre PUF et les autres polluants.....	52
Annexe 4 : Feu de forêt dans les Bouches-du-Rhône les 10-11 août 2016	53
Annexe 5 : Corrélation entre PUF 100-200 nm et BC_{wb}	54

Tableaux

Tableau 1 Sources principales des PUF pour 4 sites étudiés (non quantitative)	7
Tableau 2 Période de mesure des PUF en Région Hauts-de-France	11
Tableau 3 La comparaison des méthodes SMPS et UFP 3031	12
Tableau 4 Localisation, influence et mesures en parallèle pour ces 4 sites	15
Tableau 5 Température et humidité relative durant les campagnes de mesure effectuées	16
Tableau 6 Coefficient de détermination (R^2) entre les PUF totales et les autres polluants à Lille Leeds	23
Tableau 7 Le coefficient de détermination (R^2) entre PUF totales et les autres polluants à Creil	23
Tableau 8 Le coefficient de détermination (R^2) entre PUF totales et les autres polluants à Grande-Synthe	23
Tableau 9 Le coefficient de détermination (R^2) entre PUF totales et les autres polluants à Campagne-lès-Boulonnais	24
Tableau 10 Coefficient de détermination (R^2) entre BC_{wb} et différentes classes de tailles de PUF (Hiver 2018)	34

Illustrations

Figure 1 Distribution des tailles de PUF pour 4 sites étudiés	6
Figure 2 Comparaison des tailles de particules $PM_{0.1}$ versus $PM_{2.5}$	8
Figure 3 Points de mesures PUF dans la région Hauts-de-France en 2018	11
Figure 4 Photo et schéma d'installation d'UFP 3031 (source : manuel UFP 3031, version 2011)	13
Figure 5 Photo d'Aéthalomètre AE33 (Source : AE33 Manual Version 1.54, March 2016)	13
Figure 6 Cartes géographiques pour les 4 sites étudiés (source : géoportail 2019)	15
Figure 7 Roses du vent pendant les périodes d'étude pour ces 4 sites (direction du vent en degrés, avec le 0° correspondant au nord : 0-359° ; fréquence du vent : pourcentage dans les axes x et y ; vitesse du vent : indiqué en différente couleur)	17
Figure 8 Concentration moyenne en nombre de particules pour 4 sites étudiés	18
Figure 9 Comparaison du nombre de particules par la classe de taille	19
Figure 10 Distribution des tailles de PUF pour 4 sites étudiés	19
Figure 11 Concentration en nombre des PUF et distribution en tailles des particules à Lille	20
Figure 12 Concentration en nombre des PUF et distribution en tailles des particules à Creil	21
Figure 13 Concentration en nombre et la distribution de tailles de particules à Grande-Synthe	21
Figure 14 Concentration en nombre et distribution en tailles de particules à Campagne-lès-	

Boulonnais.....	22
Figure 15 Rose de pollution pour les PUF, le BC, le NO ₂ et le NO.....	25
Figure 16 Variation journalière des PUF totales et BC _{ff} à Lille	25
Figure 17 Roses de pollution PUF, BC _{ff} , NO ₂ et NO à Creil.....	26
Figure 18 Variation journalière des PUF totales et BC _{ff} à Creil.....	27
Figure 19 Roses de pollution PUF, BC _{ff} , NO ₂ et NO à Dunkerque	28
Figure 20 Variation journalière des PUF totales et BC _{ff} à Grande-Synthe.....	28
Figure 21 Roses de pollution PUF et BC _{ff} à Campagne-lès-Boulonnais	29
Figure 22 Variation journalière des PUF totales et BC _{ff} à Campagne-lès-Boulonnais.....	30
Figure 23 Evénement de la formation de nouvelles particules (Lille, Creil et Campagne-lès-Boulonnais)	32
Figure 24 Série temporelle des PUF 20-30 nm et d’ozone en été 2018 à Campagne-lès-Boulonnais	32
Figure 25 La variation journalière des PUF 20-30 nm pour différente saison.....	34
Figure 26 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BC _{wb} en hiver et en été 2018	35
Figure 27 Etude de cas chauffage au bois à Lille.....	36
Figure 28 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BC _{wb} en hiver et en été 2018	37
Figure 29 Etude de cas chauffage au bois à Lille à Creil.....	37
Figure 30 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BC _{wb} en hiver et en été 2018	38
Figure 31 Etude de cas chauffage au bois à Grande-Synthe	39
Figure 32 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BC _{wb} en hiver et en été 2018	40
Figure 33 Etude de cas chauffage au bois à Campagne-lès-Boulonnais	40
Figure 34 Roses de pollution pour 6 classes de tailles de particules (phase 1).....	42
Figure 35 Roses de pollution pour les autres polluants mesurés à Grande-Synthe (phase1).....	42
Figure 36 Roses de pollution pour 6 classes de tailles de particules (phase 2).....	43
Figure 37 Roses de pollution pour les autres polluants mesurés à Grande-Synthe (phase2).....	43
Figure 38 Etude de cas à Grande-Synthe le 20/04/2018.....	44
Figure 39 Variation journalière des PUF et SO ₂ en été.....	45
Figure 40 Episode de pollution aux particules PM10 novembre 2018.....	46
Figure 41 Episode de pollution aux particules PM10 mai 2018.....	46
Figure 42 Episode de pollution à l’ozone fin juin 2018.....	47

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 pour la santé humaine et ont un impact important sur le climat.

En 2017, la stratégie de surveillance des particules ultrafines a été définie dans la région Hauts-de-France pour la période 2017-2021. Cette étude PUF en 2018 s'inscrit dans le plan d'actions (axe 1) de la stratégie à échéance du PRSQA (Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air) et cofinancée par la Région Hauts-de-France.

Les PUF sont surveillées en continu grâce à une station fixe située à Lille-Leeds. Pour mieux comprendre la variation des particules ultrafines dans le temps et dans les différentes typologies de la région Hauts-de-France, des campagnes d'observation de courte durée (2 fois 4 semaines) ont été réalisées sur 3 autres points de mesures. Cette étude présente donc les premiers résultats sur quatre points avec des environnements différents : Lille-Leeds (trafic), Creil (urbain), Grande-Synthe (industriel/portuaire) et Campagne-lès-Boulonnais (rural).

La concentration en nombre 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, oxydes d'azote, dioxyde de soufre, 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 4500 – 9200 particules par centimètre cube d'air pendant les périodes étudiées. Les sites en proximité industrielle et trafic montrent une concentration plus élevée que les sites de type urbain et rural. La distribution des particules par taille pour les quatre sites montre deux groupes principaux : le plus important avec des particules de diamètre compris entre 20 et 50 nm, notamment pour le site trafic et le site industriel ; le deuxième groupe, avec des particules comprises entre 100 et 200 nm et peu de différences entre ces 4 sites.

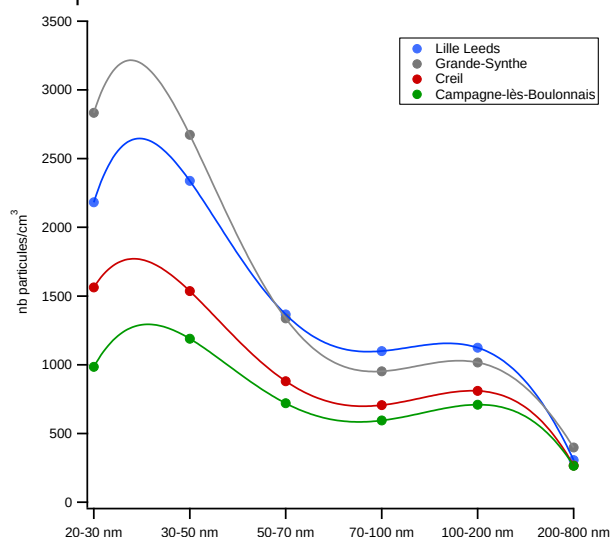


Figure 1 Distribution des tailles de PUF pour les 4 sites étudiés

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 quatre 4 sites ont été recherchées et sont résumées dans le tableau ci-dessous. Le nombre d'étoiles représente l'importance de source pour chaque site de façon qualitative (non quantitative). Le trafic est la source principale de PUF en milieu urbain (Lille et Creil). En période estivale, la formation de nouvelles particules est une source importante pour les PUF les plus fines (20-30 nm) pour tous les sites, notamment à Campagne-lès-Boulonnais et à Grande-Synthe. Le chauffage au bois est une source de PUF entre 100 et 200 nm en période hivernale, notamment pour Creil et Campagne-lès-Boulonnais. Les émissions industrielles/portuaires sont les sources principales des PUF à Grande-Synthe.

En résumé, les PUF dans la région proviennent de différentes sources. Dans la région, on mesure environ 5000 particules par centimètre cube d'air (niveau de fond régional). Les sites à proximité du trafic et de l'industrie sont exposés à un niveau double par rapport au niveau de fond.

Tableau 1 Sources principales des PUF pour les 4 sites étudiés (non quantitative)

Station	Source			
	PUF primaires			PUF secondaires
	Trafic	Chauffage au bois	Industrie/portuaire	Formation de nouvelles particules
Lille	***	*		*
Creil	**	**		*
Grande-Synthe	*	*	***	**
Campagne-lès-B		**		**

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 2019 sur 3 points de mesures : Valenciennes (trafic), Calais (port) et Dunkerque (port). Ces bases de données permettront de mieux comprendre les sources principales des PUF et d'évaluer leurs effets sanitaires, en collaboration avec les CHU de Lille et d'Amiens (résultats prévus en 2020-2021).

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. La Figure 1 montre la différence de taille de façon visuelle entre PM2,5 et PM0,1.

Les PUF 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 urbain¹.

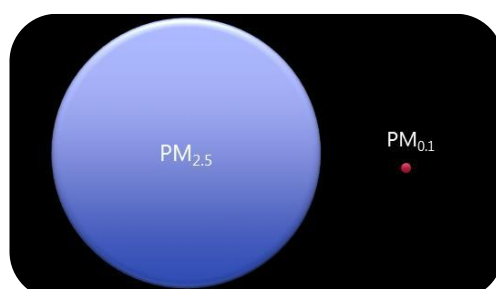


Figure 2 Comparaison des tailles de particules PM0.1 versus PM2.5

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 condensation².

¹ 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).

² 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>.

Les PUF primaires proviennent principalement de l'échappement de moteur (véhicules, bateaux, avions...) ^{3,4,5}, des processus industriels ⁶, de la transformation d'énergie ⁷, et de la combustion de biomasse ⁸.

2.1.3. Effet Sanitaire

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 massique ⁹.

Les particules ultrafines (PUF) dans l'atmosphère peuvent constituer un risque pour la santé.

En raison de leur très petite taille, les PUF peuvent pénétrer profondément dans le poumon, le réseau sanguin et potentiellement dans tous les organes du corps. 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 pulmonaires ¹².

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 PUF ¹⁵.

³ 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>.

⁴ 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>.

⁵ 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>.

⁶ 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>.

⁷ 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>.

⁸ 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>.

⁹ 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>.

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 UFIRES 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>.

2.2. Stratégie régionale et nationale

En 2017, Atmo a défini la stratégie de surveillance des particules ultrafines dans la région Hauts-de-France pour la période 2017-2021¹⁶. 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. Cette étude PUF en 2018 s'inscrit dans le plan d'actions (axe 1) de la stratégie à échéance du PRSQA (Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air) et cofinancée par la Région Hauts-de-France.

En juin 2018, l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a inscrit les PUF et le black carbone (ou le carbone suie) parmi les 13 polluants émergents prioritaires pour une surveillance à venir dans l'air ambiant. Selon le communiqué de presse du MTES (Ministère de la Transition écologique et solidaire) du 28 juin 2018, le Gouvernement renforcera les modalités de surveillance des concentrations dans l'air pour ces polluants « non réglementés » (le 1,3-butadiène, les particules ultrafines et le carbone suie).

Actuellement, il n'existe pas de valeurs limites de référence pour ces polluants. Mais le groupe de travail national envisage des programmes de recherche avec l'ANSES visant à mieux caractériser la toxicologie des PUF et établir une/des valeurs toxicologiques de référence (VTR) afin de pouvoir disposer à l'avenir de valeurs de référence.

A partir du 2019, une stratégie nationale PUF/BC sera établie en collaboration avec des acteurs de la santé et en tenant compte de la future stratégie européenne.

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 :

- Mettre en œuvre la stratégie de surveillance des PUF pour la région Hauts-de-France définie en 2017.
- Documenter et comparer le niveau de concentration et la distribution de taille des PUF sur 4 typologies différentes du territoire.
- Comprendre l'évaluation temporelle (journalière, saisonnière) des PUF.
- Identifier des sources potentielles des particules ultrafines dans la région.
- Aider à mieux comprendre la nature des épisodes de pollution.
- Mieux comprendre la formation des particules secondaires dans la région.

¹⁶ Atmo Hauts-de-France, "Stratégie « particules Ultrafines » Pour La Region Hauts-de-France (2017-2021)" (N°01/2017/SZ, June 2017).

3. Matériels et méthodes

3.1. Stations de mesures

3.1.1. Localisation des stations

Depuis 2018, la surveillance des particules ultrafines est pérennisée sur une station trafic à Lille (Lille Leeds, MC7). En parallèle, 3 campagnes d'observation de courte durée ont été réalisées en 2018 sur 3 typologies différentes dans la région : industrielle (Grande-Synthe DKI), urbaine (Creil, CR2) et rurale (Campagne-les-Boulonnais, RU1). Pour chaque typologie, la campagne de mesure a été effectuée 2 fois (minimum 4 semaines chaque fois) dans l'année pour avoir une bonne représentativité.

Leurs localisations sont présentées sur la Figure 3.



Figure 3 Points de mesures PUF dans la région Hauts-de-France en 2018

3.1.2. Période de mesures

La période de mesure pour chaque campagne est indiquée dans le Tableau 2. La deuxième phase de mesure (oct.-nov. 2018) à Grande-Synthe n'est pas complète à cause de problèmes techniques de l'appareil, qui ont nécessité un retour de l'appareil chez le fournisseur pour réparation. De ce fait, nous avons ajouté une « phase 3 » en décembre 2019 pour compléter les mesures sur ce site. Dans la partie d'exploitation des données, la « phase 3 » a été combinée dans la phase 2. En conséquence, la deuxième phase de mesure à Campagne-lès-Boulonnais a été reporté en début 2019.

Tableau 2 Période de mesure des PUF en Région Hauts-de-France

	2018												2019	
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr
MC7														
CR2														
DKI														
RU1														

3.1.3. Résolution temporelle

Les données des polluants (PUF et autres polluants) sont toutes moyennées au pas de temps horaire à partir des données d'origine quart horaire. Les données météorologiques, fournies par les stations Météo France., sont déjà en moyenne horaire.

3.2. Instrumentation

3.2.1. 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 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 la concentration en nombre de particules entre 20 nm et 800nm ;
- Mesure 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.

Tableau 3 La comparaison des méthodes SMPS et UFP 3031

	SMPS	UFP 3031
Source radioactive	(-) Certains modèles utilisent une source radioactive ; besoin d'une licence spéciale pour se déplacer	(+) Pas de source radioactive
Fluide de travail	(-) Butanol (Besoin d'une maintenance plus fréquente)	(+) Pas de fluide de travail
Limite de détection	(+) 7 nm	(-) 20 nm
Normalisation	(+) Méthode normalisée par le CEN	(-) (en cours)
Nombre de canaux	(+) 64	(-) 6

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.

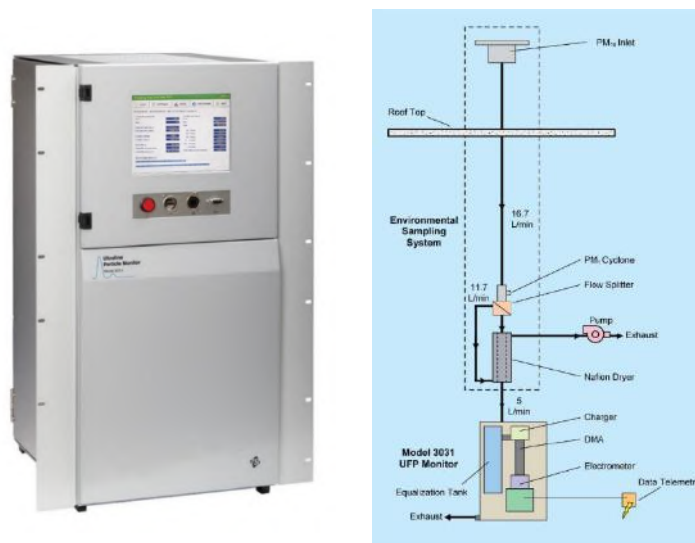


Figure 4 Photo et schéma d'installation d'UFP 3031 (source : manuel UFP 3031, version 2011)

3.2.2. Aéthalomètre AE33

Le black carbone (carbone suie), ou « Carbone Élémentaire (EC) » est produit par la combustion incomplète de combustibles fossiles et de biomasse, qui provient principalement du trafic (routier, maritime, aérien...), de l'industrie, du chauffage résidentiel, des centrales thermiques et autres types de combustion.

L'Aéthalomètre AE33 est un instrument qui donne la concentration équivalente de black carbon (BC) en mesurant l'absorption de la lumière sur une bande filtrante chargée de particules. L'AE33 mesure l'absorption optique à sept longueurs entre 370 et 950 nm.

Les données obtenues à partir de la longueur d'onde 880 nm sont utilisées pour calculer la concentration de BC. Les autres longueurs d'onde peuvent être utilisées pour estimer les contributions des différentes sources de black carbon : BC_{ff} (BC lié à la combustion de carburants fossiles) et BC_{wb} (BC lié à la combustion de biomasse).



Figure 5 Photo d'Aéthalomètre AE33 (Source : AE33 Manual Version 1.54, March 2016)

3.3. Analyse du vent par la méthode NWR

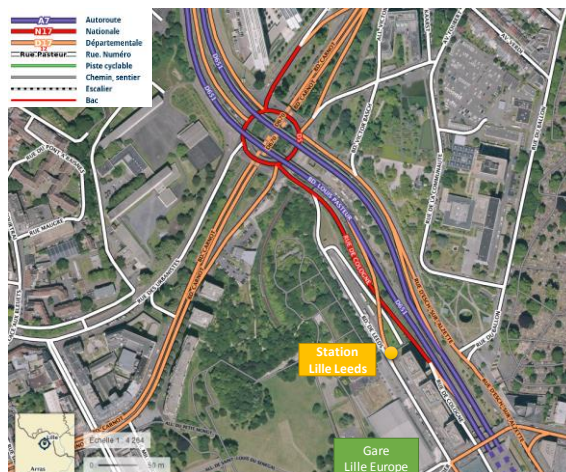
Les roses de pollution dans cette étude sont basées sur la méthode NWR (*Non-parametric wind regression*) et réalisées par le logiciel Zefir. Cette méthode permet de combiner la concentration des polluants avec la mesure de la vitesse et la direction du vent. Le principe est de lisser les données sur 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.

4. Contexte environnemental

4.1. Stations de mesure

Les quatre stations de mesure sont situées à Lille, Creil, Grande-Synthe et Campagne-lès-Boulonnais. Leurs localisations, les influences autour et les mesures parallèles sont indiqués dans le Tableau 4 et sur la Figure 6.

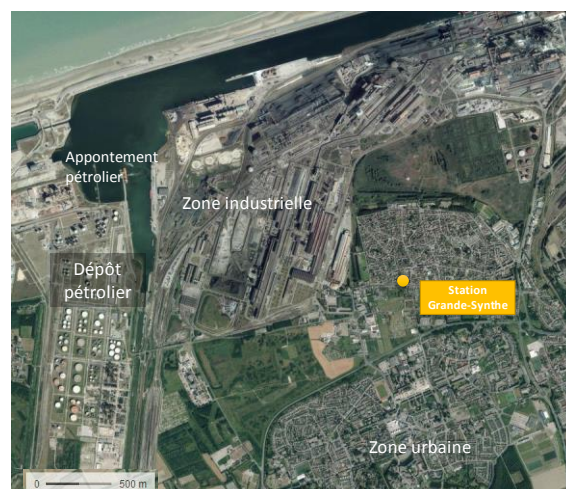
La station de Lille Leeds est une station urbaine qui est sous influence trafic. Elle mesure les polluants réglementés suivants : NO, NO₂, ozone, PM_{2.5}, et PM₁₀. Elle suit également le BC et PUF en permanence. La station est bordée par l'autoroute (D651), la route nationale (D5) et la route départementale (D670) dans les directions nord, nord-est et est. La gare Lille-Europe se situe dans la direction sud et le parc Matisse se situe dans la direction ouest. La station est également sous l'influence urbaine de fond à Lille (trafic, résidentiel...).



La station à Creil est en environnement urbain et sous influence la pollution de fond. Elle mesure les polluants réglementés suivants : NO₂, NO, ozone, et PM₁₀. La rivière l'Oise et son transport fluvial se trouvent dans le nord avec une distance d'environ 120 mètres. Une salle de spectacles (La Faïencerie-Théâtre) et son parking se situent à l'ouest de la station. Le centre-ville de Creil est dans la direction sud et la voie rapide D1016 se situe dans l'est de la station.



La station de Grande-Synthe est la principale ville de la périphérie de Dunkerque. Le grand port maritime de Dunkerque, troisième de France en matière de trafic, comporte des installations industrielles de pétrochimie, de métallurgie et de sidérurgie. Cette région portuaire est également la première plateforme énergétique des Hauts-de-France, du fait de la présence de la centrale nucléaire de Gravelines, de la centrale DK6 et d'un terminal méthanier. La station de Grande-Synthe est implantée en milieu urbain et directement influencée par les activités industrielles environnantes. Cette station mesure les polluants réglementés suivants : CO, NO₂, NO, PM₁₀, SO₂, les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques, dont le benzo(a)pyrène) et 4 métaux lourds (plomb, arsenic, cadmium et nickel).



La station de Campagne-lès-Boulonnais est située sur un plateau humide (environ 1000 mm de pluie/an) à une altitude entre 150 m et 180 m dans le département du Pas-de-Calais. En 2016, la commune comptait 613 habitants (46 hab./km²) dans une superficie de 13.28 km². Cette station est considérée comme une station rurale : elle est éloignée des sources d'émissions directes (trafic, résidentielles, industrielles...) et représente un niveau de fond régional.



Figure 6 Cartes géographiques pour les 4 sites étudiés (source : géoportail 2019)

Cet ensemble de sites a été choisi afin de caractériser les particules ultrafines sur divers environnements du territoire. D'autre part, chacun de ces sites est influencé par des émissions et des conditions météorologiques qui lui sont propres.

Tableau 4 Localisation, influence et mesures en parallèle pour ces 4 sites

Station	Localisation	Influence	Mesures en parallèle
Lille Leeds	Urbain	Trafic	PM10/PM2.5 NO/NO ₂ /NO _x BTX BC
Creil	Urbain	Fond	PM10/PM2.5 NO/NO ₂ /NO _x O ₃ BC/*PM ₁ -NR
Grande-Synthe	Urbain	Industrielle	PM10 NO/NO ₂ /NO _x SO ₂ /CO HAP Métaux Lourds
Campagne-lès-Boulonnais	Rurale régionale	Fond	PM10 /PM2.5 O ₃

*PM1-NR : Particules PM1 non-réfractaires (organiques, nitrate, sulfate, ammonium et chlorure)

4.2. Contexte météorologique

Les données météorologiques (en résolution horaire) utilisées dans cette étude sont mesurées par les stations Météo France à proximité de chaque station.

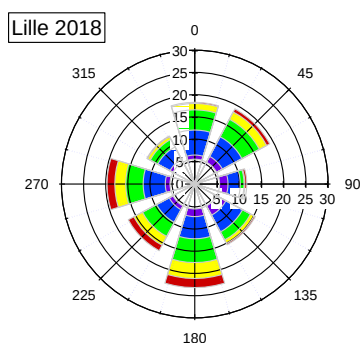
La température et l'humidité relative correspondant à la chaque période de mesure pour ces 4 sites sont présentées dans le Tableau 5.

La période d'étude de la station Lille Leeds (une année civile complète), montre une température minimale à -8°C en hiver et maximale à 37°C en été. Son humidité relative est comprise entre 22-100%, avec une moyenne à 76%. Les valeurs correspondant à chaque saison sont également présentées dans le tableau 3.

A Creil, la première phase a eu lieu en hiver/printemps et la deuxième phase s'est déroulée en automne. La température minimale est de -12°C (la plus froide parmi tous les sites de mesure). A Grande-Synthe, les phases 1 et 2 ont eu lieu au printemps et en automne/hiver, respectivement. Les humidités relatives moyennes sont un peu plus élevées par rapport les autres sites, qui est probablement à cause de sa proximité au littoral. Les mesures à Campagne-lès-Bouloonnais ont eu lieu en été 2018 et en hiver/printemps 2019.

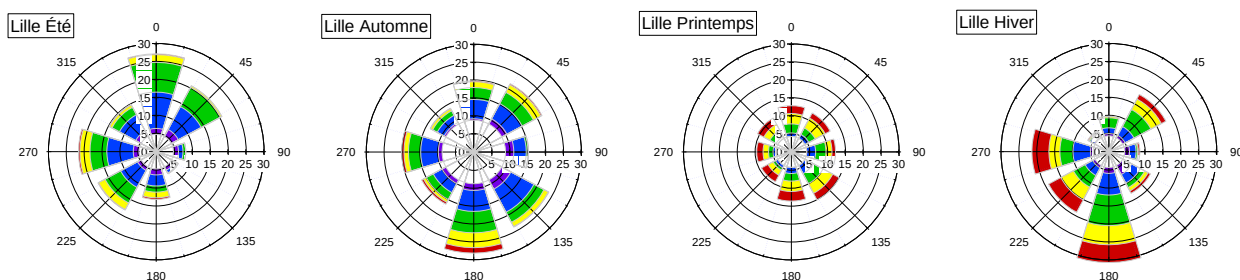
Tableau 5 Température et humidité relative durant les campagnes de mesure effectuées

Stations et périodes		Température (°C)			Humidité relative (%)		
		Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
Lille Leeds	2018	-8	12	37	22	76	100
	Hiver	-8	5	14	29	83	100
	Printemps	-6	11	29	25	74	100
	Été	7	20	37	22	66	100
	Automne	-2	12	26	30	79	99
Creil	Phase 1	-12	6	26	26	79	99
	Phase 2	0	16	29	25	73	99
Grande-Synthe	Phase 1	6	13	27	35	80	95
	Phase 2	-1	10	26	42	80	97
Campagne-lès-Bouloonnais	Phase 1	6	17	31	28	75	99
	Phase 2	1	8	18	31	79	99

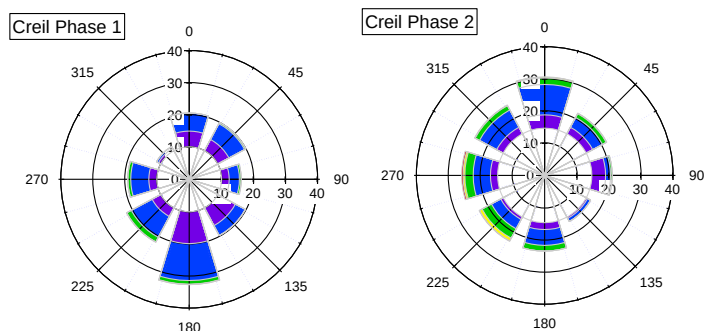


Les roses du vent correspondant à chaque phase de mesure pour ces 4 sites sont présentées sur la Figure 7. Les vents inférieurs à 1 m/s ne sont pas pris en compte car leur direction est entachée de trop d'incertitude.

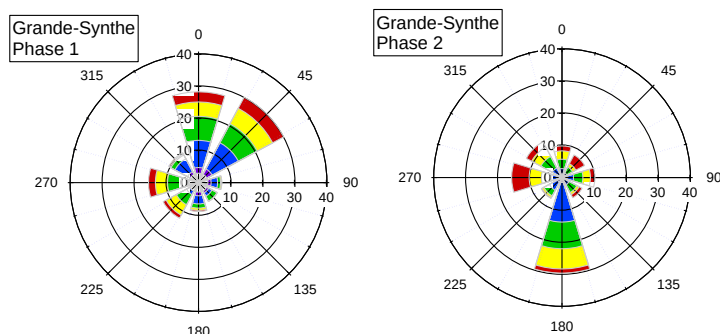
Le vent observé à Lille couvre quasi toutes les directions, avec un vent du sud plus fréquent (~20%). Par contre, les vents de l'est et du sud-ouest sont peu présents (~5%). Les vents saisonniers sont également présentés : en hiver, le vent du sud domine avec une vitesse plus élevée ; en été, le vent du nord domine mais avec une vitesse plus faible ; Au printemps et en automne, la direction et la vitesse du vent sont plutôt homogènes dans toutes les directions.



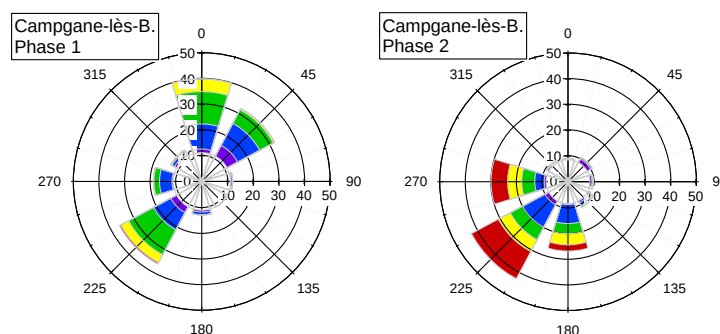
Le vent à Creil est très calme comparé aux autres sites (0-4 m/s en général). Les directions principales sont opposées pour les deux périodes de mesure : vent du sud pour la phase 1 et vent du nord pour la phase 2.



A Grande-Synthe, les vents présentent une vitesse plus importante (> 6 m/s) pendant ses périodes de mesure. La direction du vent est principalement du nord et nord-est pour la phase 1 et vent du sud pour la phase 2.



Les roses du vent pour Campagne-lès-Boulonnais sont différentes pour les deux phases : vent du nord principalement avec de faibles vitesses (< 6 m/s) pour la phase 1 ; vent du sud-ouest avec une vitesse très élevée (> 8 m/s).



Vitesse du vent

1-2 m/s 2-4 m/s 4-6 m/s 6-8 m/s >8 m/s

Figure 7 Roses du vent pendant les périodes d'étude pour ces 4 sites (direction du vent en degrés, avec le 0° correspondant au nord : 0-359° ; fréquence du vent : pourcentage dans les axes x et y ; vitesse du vent : indiqué en différente couleur)

5. Résultats de l'étude

5.1. Concentration en nombre et distribution en tailles de particules

Dans un premier temps, la concentration en nombre et la distribution en tailles de particules sont comparés pour les quatre sites étudiés (Figure 8). Cette concentration moyenne est la somme des particules mesurées par l'UFP 3031 dans les six classes de taille. La période d'étude de chaque site est indiquée dans la section 3.1.2. Elle n'est pas identique pour chaque site mais cette comparaison de concentrations nous permet d'avoir une première idée du nombre de particules moyen sur différents points territoriaux.

Le site trafic de Lille Leeds et le site industriel de Grande-Synthe montrent un niveau plus élevé : 8400 et 9200 par centimètre cube, respectivement. Le site urbain de Creil et le site rural de Campagne-lès-Boulonnais présentent une concentration moyenne moins élevée, autour de 5800 et 4500 particules par centimètre cube, respectivement. La concentration des PUF pour le site rural équivaut environ la moitié des sites proches des sources d'émissions : trafic ou industriel.

Ces niveaux sont comparables avec les autres stations de surveillance en France (Annexe 2) : plus de 10 000 particules/cm³ pour le site trafic à Grenoble, et d'environ 5500 particules/cm³ pour les sites de type fond urbain.

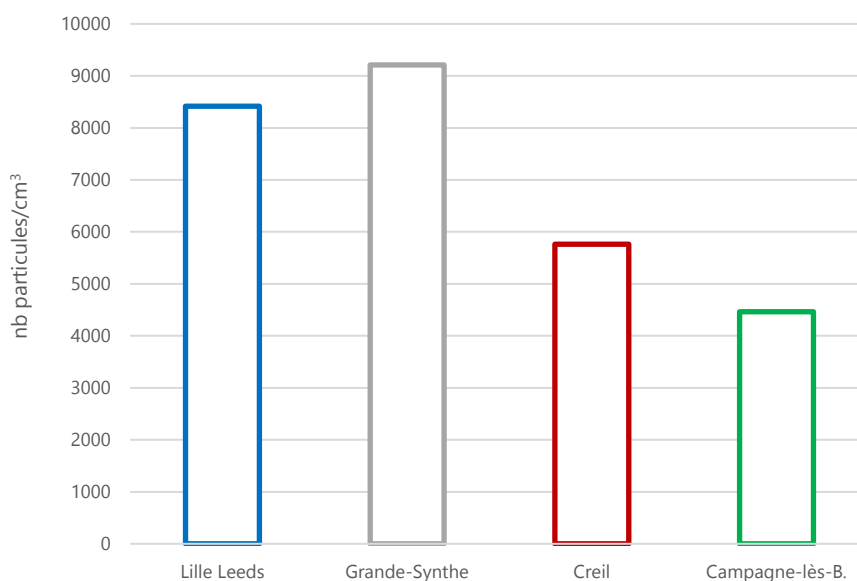


Figure 8 Concentration moyenne en nombre de particules pour 4 sites étudiés

Le nombre de particules dans les six classes de taille a été comparé dans la Figure 9. La classe des PUF les plus grandes (200-800 nm) ne montre pas une différence significative pour ces 4 sites. Les écarts deviennent de plus en plus grands avec la diminution de taille de particules. Pour les particules tailles entre 50-200 nm, le site trafic montre une concentration plus importante que les autres sites. Le site industriel montre une concentration plus élevée que les autres sites pour la fraction la plus fine des particules (20-50 nm).

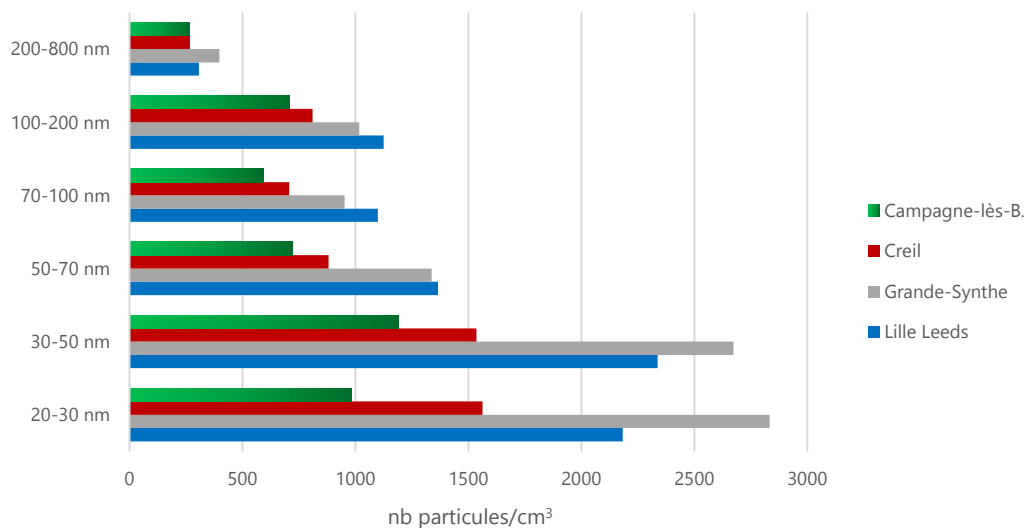


Figure 9 Comparaison du nombre de particules par la classe de taille

La distribution des tailles de particules pour les quatre sites est présentée dans la Figure 10. Il s'agit d'une distribution bimodale. Le pic le plus important se trouve entre 20-50 nm, notamment pour le site trafic et le site industriel. Le site industriel présente un niveau 3 fois plus élevé que le site rural pour ces tailles de particules.

Le deuxième pic se situe entre 100-200 nm. L'intensité du pic est plus faible que le pic 20-30 nm et les différences entre ces 4 sites sont moins remarquables (700-1100 particules/cm³). L'ordre des concentrations les plus élevées en fonction de la typologie reste identique.

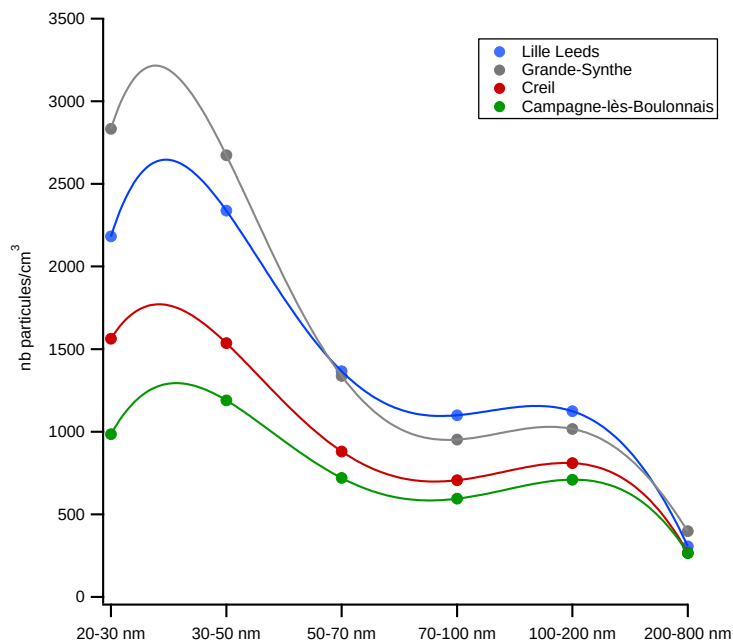


Figure 10 Distribution des tailles de PUF pour 4 sites étudiés

5.1.1. Lille Leeds (trafic)

La variation saisonnière pour la concentration en nombre et la distribution en taille est présentée dans la Figure 11 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Les PUF ne présentent pas une variation significative saisonnière alors que les conditions météorologiques peuvent être très variables (Cf. section 4.2).

Elles sont un peu plus importantes en automne (proche de 9000 particules/cm³) et un peu moins élevées en période estivale (~7700 particules/cm³).

La distribution en taille montre que les fractions plus fines (20-50 nm) sont moins élevées en hiver que les autres saisons. Et la classe de taille 100-200 nm est moins importante en été.

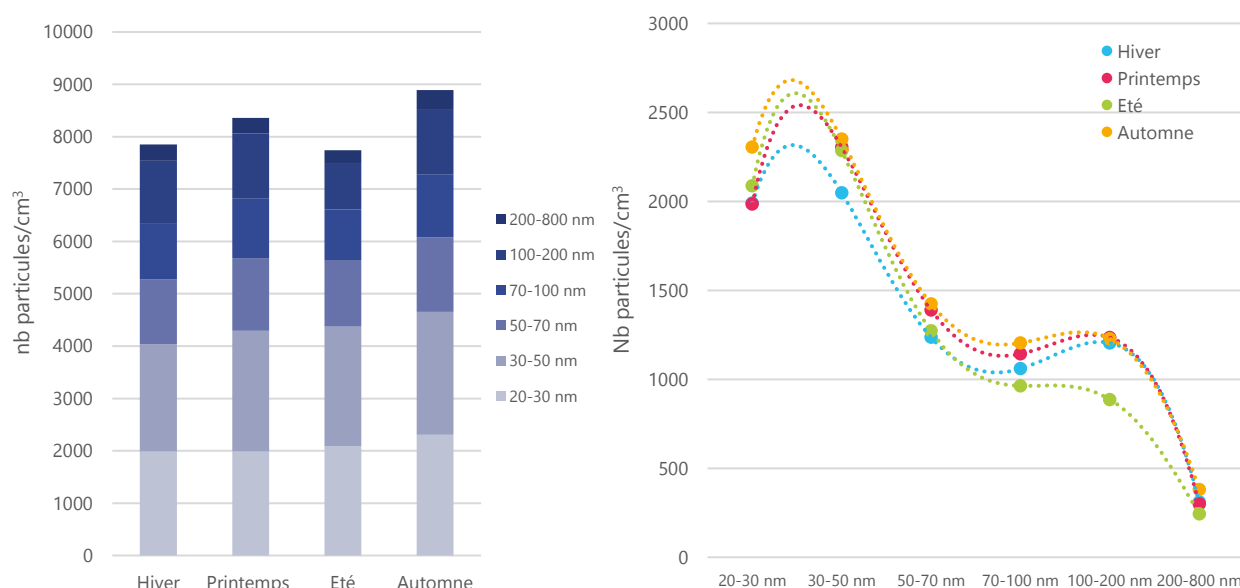


Figure 11 Concentration en nombre des PUF et distribution en tailles des particules à Lille

5.1.2. Creil (urbaine)

Les deux campagnes de mesures à Creil ont été réalisées en période froide (janvier-avril : température moyenne 6°C) et en période chaude (août-septembre : température moyenne 16°C).

La concentration des PUF totales en moyenne est d'environ 7000 particules/cm³ pour la période froide et autour de 5000 particules/cm³ pour la période chaude. La différence se retrouve dans toutes les tailles de particules.

La distribution en tailles de particules est également présentée. En période plus froide, les PUF entre 100 et 200 nm sont beaucoup plus importantes que la phase 2.

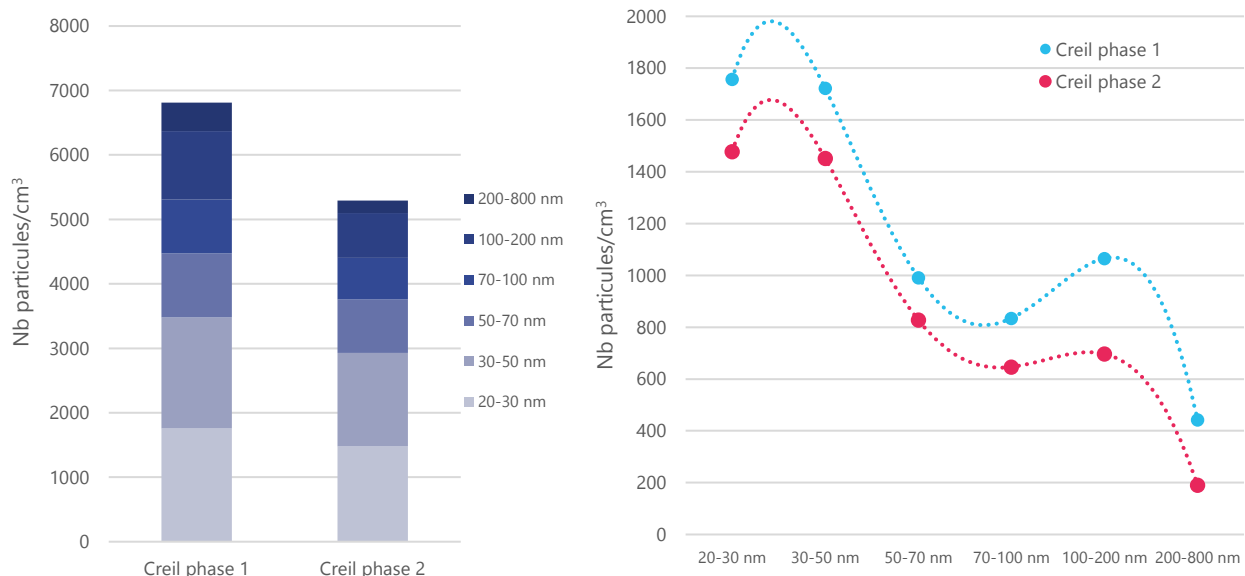


Figure 12 Concentration en nombre des PUF et distribution en tailles des particules à Creil

5.1.3. Grande-Synthe (industrielle)

A Grande-Synthe, la première phase a eu lieu au printemps (température moyenne 13°C), avec une concentration moyenne d'environ 11000 particules/cm³. La deuxième phase a eu lieu en automne/hiver (température moyenne 10°C) ; elle montre une concentration moins importante d'environ 8300 particules/cm³.

La distribution de tailles indique que la différence entre les 2 phases se trouve principalement pour les particules entre 30-100 nm, notamment pour la classe 30-50 nm.

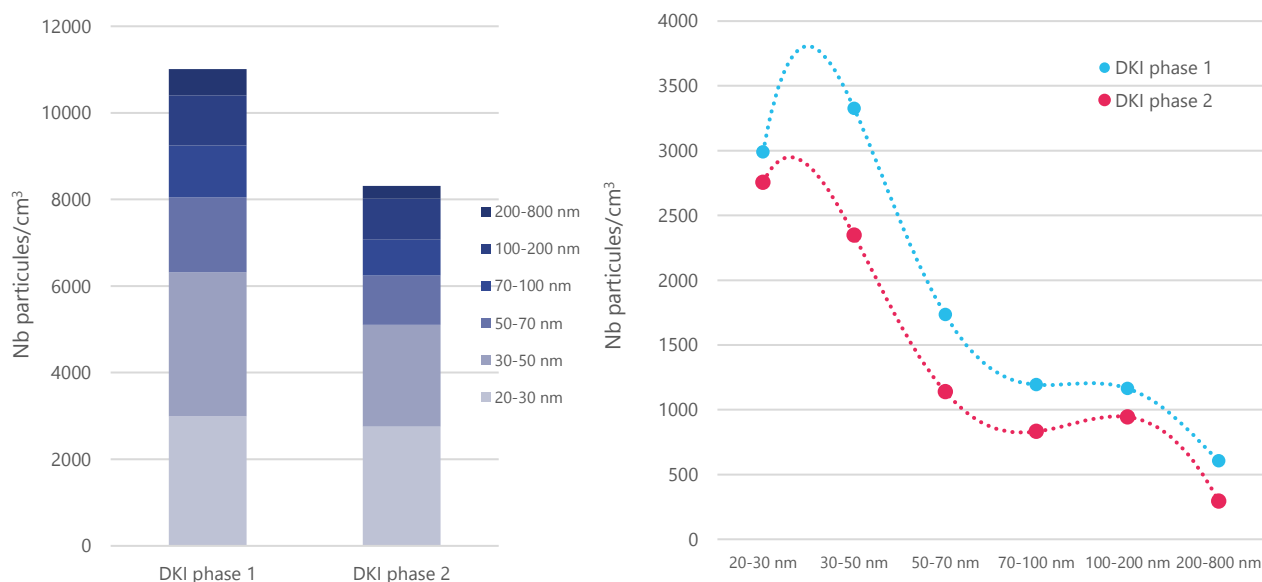


Figure 13 Concentration en nombre et la distribution de tailles de particules à Grande-Synthe

5.1.4. Campagne-lès-Boulonnais (rurale)

La phase 1 et 2 à Campagne-lès-Boulonnais ont été réalisées en période chaude (juin-juillet : température moyenne 17°C) et en période froide (février-mars : température moyenne 8°C), respectivement. Contrairement à Creil, la concentration en nombre est plus importante en période chaude (~5500 particules/cm³) que la période froide (~3400 particules/cm³).

En période chaude, les particules entre 20-50 nm sont plus importantes (> 50%) que les autres tailles de particules.

En période froide, les particules entre 100-200 nm sont plus élevées que les autres tailles.

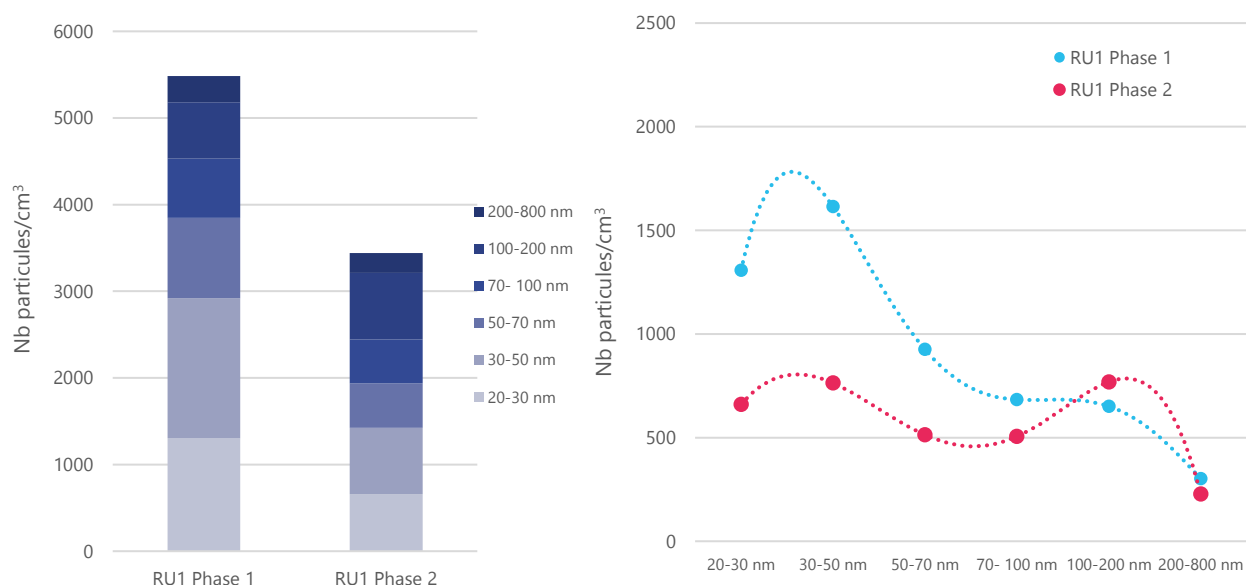


Figure 14 Concentration en nombre et distribution en tailles de particules à Campagne-lès-Boulonnais

5.2. Corrélation avec les autres polluants

Le coefficient de détermination (R^2) entre les PUF totales et les autres polluants mesurés en parallèle pour chaque site est présenté dans les Tableaux 6 à 9. Les valeurs R^2 plus importantes (>0.6) sont mises en gras. Les graphiques se trouvent dans l'Annexe 2. Pour Lille, les corrélations pour l'année 2018 et les quatre saisons sont présentées séparément. Pour les 3 observations de courte durée, les corrélations pour les données totales et par phase de mesure sont présentées. La température et les conditions du vent (direction et vitesse) correspondant à chaque période de mesure sont déjà discutées dans la section 4.2.

5.2.1. Lille Leeds (trafic)

En 2018, les PUF totales montrent une bonne corrélation avec le black carbon (BC), BC lié à la combustion de fioul fossile (BC_{ff}), le dioxyde d'azote (NO₂) et les oxydes d'azote (NO_x) à Lille, notamment en hiver et en automne. En hiver, les PUF ont une meilleure corrélation avec le black carbon lié à la combustion de biomasse (BC_{wb}) que les autres saisons.

On suppose que les émissions liées au trafic sont une source importante des PUF mesurées à Lille Leeds, notamment pour la période froide. En hiver, le chauffage au bois pourrait aussi contribuer à la concentration en nombre de particules à Lille. En été, la corrélation entre BC_{ff} et PUF est beaucoup plus faible. On suppose qu'il y a autres sources qui contribuent aux concentrations de PUF mesurées.

Tableau 6 Coefficient de détermination (R^2) entre les PUF totales et les autres polluants à Lille Leeds

R^2											
Lille Leeds	BC	BC _{wb}	BC _{ff}	NO	NO ₂	NO _x	PM2.5	PM10	O ₃	SO ₂	CO
PUF (2018)	0.71	0.35	0.71	0.53	0.62	0.69	0.22	/	/	/	/
Hiver	0.86	0.58	0.84	0.74	0.74	0.81	0.39	/	/	/	/
Printemps	0.63	0.42	0.62	0.37	0.61	0.56	0.11	/	/	/	/
Été	0.41	0.22	0.40	0.19	0.40	0.39	0.13	/	/	/	/
Automne	0.82	0.43	0.82	0.74	0.72	0.81	0.33	/	/	/	/

5.2.1. Creil (urbaine)

A Creil, les PUF corrélaient bien avec les deux sources principales du black carbon : BC_{ff} lié au trafic et BC_{wb} lié au chauffage au bois. Elles montrent aussi un lien fort avec la concentration en NO₂ et NO_x. Ces résultats indiquent le trafic et le chauffage au bois peuvent contribuer aux PUF mesurées à Creil.

Tableau 7 Le coefficient de détermination (R^2) entre PUF totales et les autres polluants à Creil

R^2											
Creil	BC	BC _{wb}	BC _{ff}	NO	NO ₂	NO _x	PM2.5	PM10	O ₃	SO ₂	CO
PUF (totales)	0.67	0.70	0.67	0.48	0.73	0.73	0.16	0.21	0.27	/	/
Phase 1	0.71	0.73	0.71	0.54	0.74	0.76	0.16	0.24	0.42	/	/
Phase 2	0.63	0.65	0.63	0.38	0.69	0.65	0.09	0.11	0.22	/	/

5.2.1. Grande-Synthe (industrielle)

A Grande-Synthe peu de corrélation entre les PUF et les autres paramètres sont observés.

La station à Grande-Synthe est sous influence de multi-sources, notamment les activités industrielles complexes et leurs influences sur les PUF mesurées seront discutées en détails dans une section suivante.

Tableau 8 Le coefficient de détermination (R^2) entre PUF totales et les autres polluants à Grande-Synthe

R^2											
Grande-Synthe	BC	BC _{wb}	BC _{ff}	NO	NO ₂	NO _x	PM2.5	PM10	O ₃	SO ₂	CO
PUF (totales)	0.01	0.15	0.02	0.13	0.36	0.28	/	0.20	/	0.17	0.32
Phase 1	0.16	0.02	0.35	0.24	0.45	0.41	/	0.19	/	0.36	0.39
Phase 2	0.12	0.17	0.07	0.11	0.14	0.15	/	0.19	/	0.07	0.04

5.2.1. Campagne-lès-Boulonnais (rurale)

A Campagne-lès-Boulonnais, les PUF montrent une bonne corrélation avec les BC_{wb} en phase 2, indiquant que le chauffage au bois contribue au nombre de particules mesurées sur ce site en période froide.

Tableau 9 Le coefficient de détermination (R^2) entre PUF totales et les autres polluants à Campagne-lès-Boulonnais

R^2											
Campagne-lès-B.	BC	BC_{wb}	BC_{ff}	NO	NO_2	NO_x	PM2.5	PM10	O_3	SO_2	CO
PUF (totales)	0.13	0.14	0.09	/	/	/	0.16	0.24	0.00	/	/
Phase 1	0.14	0.10	0.11	/	/	/	0.08	0.22	0.18	/	/
Phase 2	0.38	0.68	0.21	/	/	/	0.43	0.40	0.48	/	/

5.3. Influence du trafic

Selon la littérature, le trafic routier est une source majeure de PUF dans le milieu urbain¹⁷. Dans cette partie, l'influence du trafic sur les particules ultrafines est étudiée pour les 4 sites de typologie différente. La période d'étude est l'année 2018 pour Lille et la somme de 2 phases pour les 3 autres sites. Les polluants liés à l'influence du trafic seront étudiés en parallèle : il s'agit du Black Carbone lié au trafic (BC_{ff}), du NO et du NO_2 .

5.3.1. Lille

Les roses de pollution sont présentées dans la Figure 15. Les PUF montrent une concentration plus élevée dans les directions N-NE-E ($> 14\ 000$ particules/cm³), correspondant bien à la direction du boulevard périphérique de Lille (D651 et D670). La concentration moyenne ($\sim 8\ 000$ particules/cm³) se retrouve quant à elle dans toutes les directions et pour toutes les vitesses du vent. Cette concentration correspond au niveau de fond à Lille en zone urbaine. La plus faible concentration ($\sim 4\ 000$ particules/cm³) se trouve dans les directions W-SW, où se trouve le parc Matisse.

Les 3 polluants liés aux émissions trafic (BC_{ff} , NO_2 et NO) montrent une direction similaire aux PUF.

Le BC_{ff} et le NO présentent toutefois une influence plus locale du trafic. Leurs concentrations réduisent largement dans les quadrants gauches, à l'opposé du boulevard périphérique.

Le NO_2 montre une distribution similaire aux PUF : une concentration élevée ($> 50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondant au trafic local et un niveau de fond ($30\text{--}40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) dans toute la zone urbaine.

¹⁷ Ji Ping Shi, A.A. Khan, and Roy M. Harrison, "Measurements of Ultrafine Particle Concentration and Size Distribution in the Urban Atmosphere," *Science of The Total Environment* 235, no. 1 (September 1, 1999): 51–64, [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00189-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00189-8).

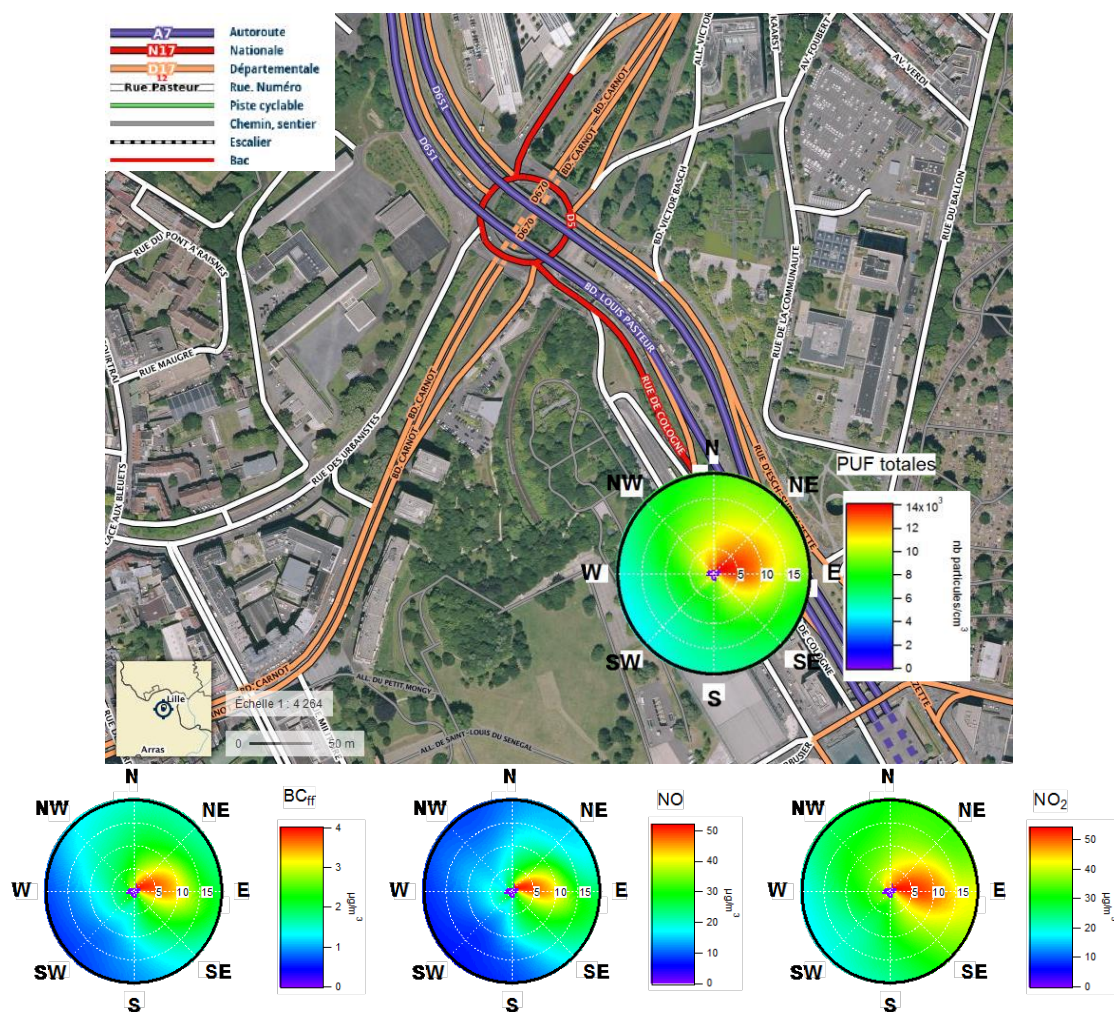


Figure 15 Rose de pollution pour les PUF, le BC, le NO₂ et le NO

Dans la Figure 16, le cycle journalier des PUF et du BC_{ff} montre une variation très similaire : les deux pics liés à l'heure de pointe du matin et du soir. Cependant les PUF pendant la nuit, en début après-midi et fin de soirée sont un peu plus importantes que le BC_{ff}. Ce phénomène pourrait être expliqué par l'émission des PUF primaires par d'autres sources que trafic (e.g. chauffage) et/ou la formation des PUF secondaires.

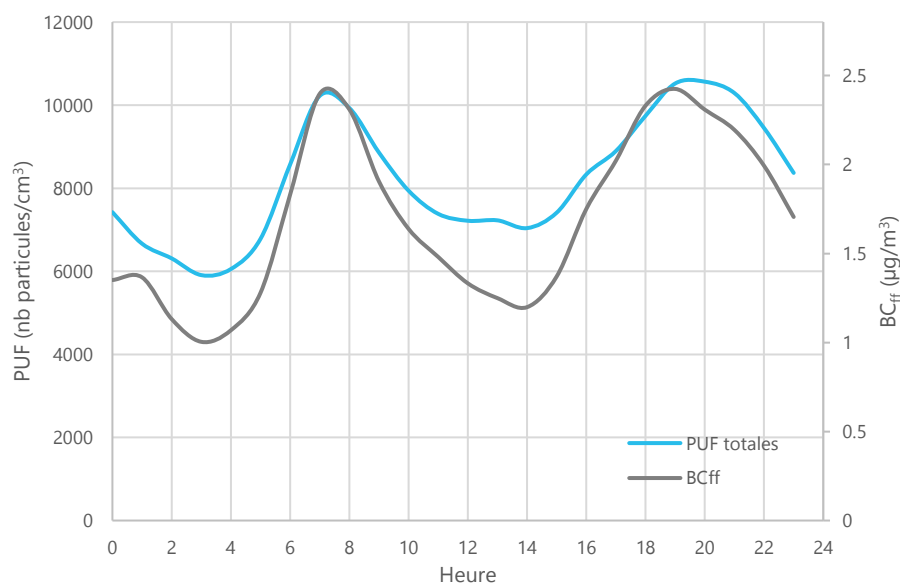


Figure 16 Variation journalière des PUF totales et BC_{ff} à Lille

5.3.2. Creil

Les roses de pollution pour les PUF totales, BC_{ff} , $PM_{2.5}$ et PM_{10} sont présentés dans la Figure 17.

Les PUF et le NO_2 montrent une distribution spatiale très similaire : les fortes concentrations sont liées aux vents faibles vitesses (< 10 km/h) dans la direction Est où se situe la voie rapide D1016. Le BC_{ff} et le NO ont aussi une forte concentration dans la même direction.

Les concentrations un peu moins importantes pour ces polluants sont aussi observées dans les directions SE-S, correspondant au centre-ville de Creil. De ce fait, le trafic urbain est considéré comme une source importante des particules ultrafines à Creil.

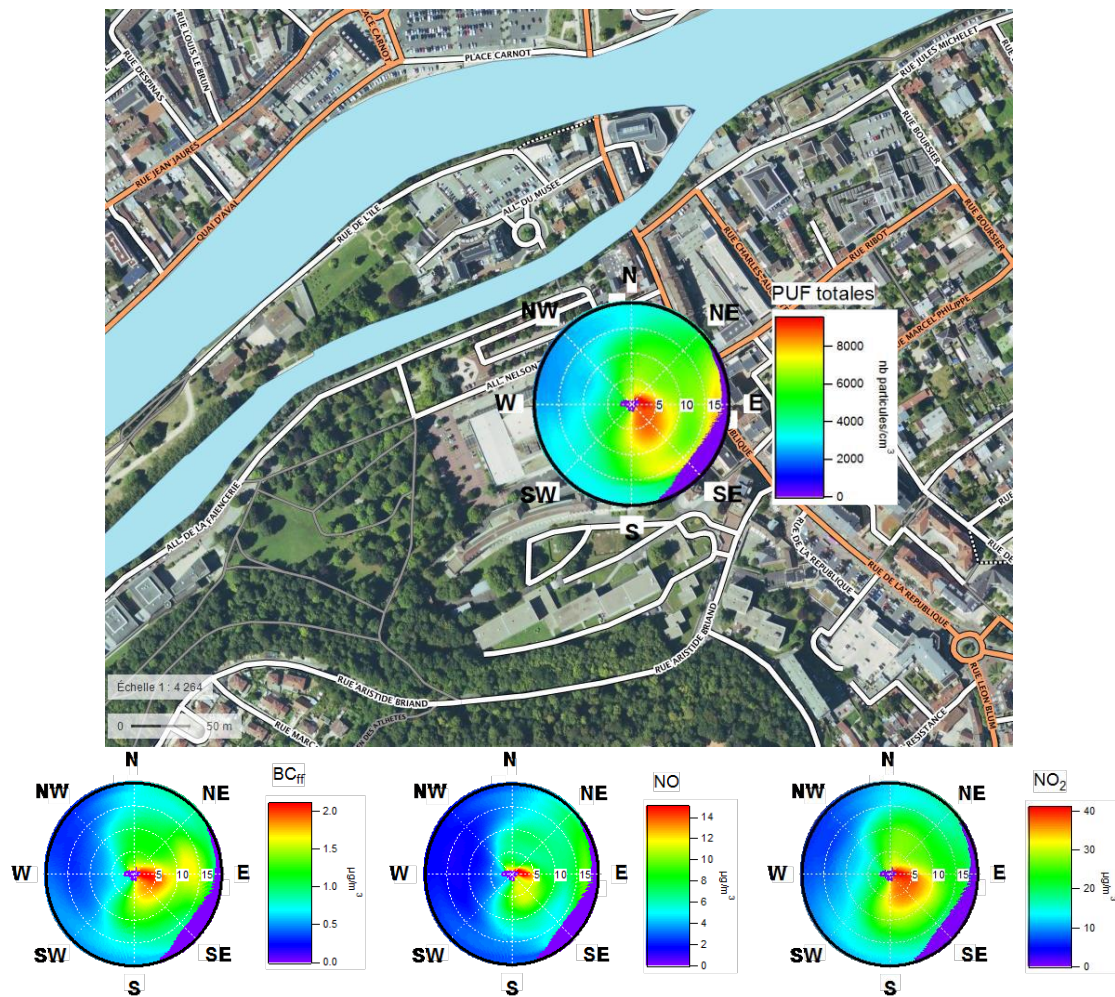


Figure 17 Roses de pollution PUF, BC_{ff} , NO_2 et NO à Creil

La variation journalière des PUF et du BC_{ff} est très similaire (Figure 18). Les PUF sont un peu plus importantes dans la journée que le BC_{ff} , ce qui indique que les autres sources des PUF existent à Creil.

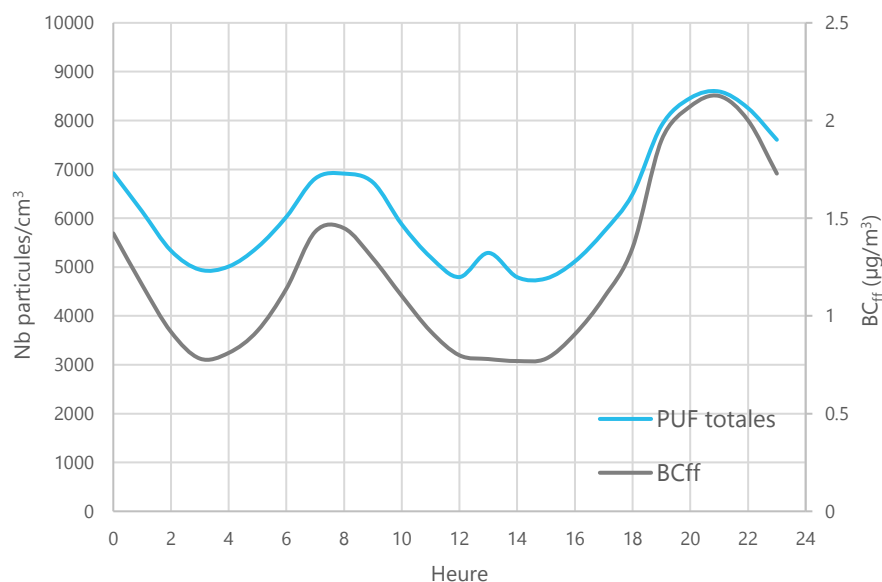


Figure 18 Variation journalière des PUF totales et BC_{ff} à Creil

5.3.3. Grande-Synthe

Comme déjà indiqué dans la section 5.2, les PUF totales mesurées à Grande-Synthe ne montrent pas une corrélation significative avec les autres polluants mesurés en parallèle.

Les PUF mesurées à Grande-Synthe ont une rose de pollution très différente aux traceurs trafic (Figure 19).

Les concentrations élevées de PUF se trouvent dans la direction NW, correspondant les activités industrielles et portuaires. Le BC_{ff} et le NO proviennent principalement de la direction du sud, où se situe la route départementale D106 et le centre-ville de Grande-Synthe. Ils sont associés avec des vents très faibles (< 5 km/h), confirmant que l'origine de ces sources est locale.

Le NO_2 montre une distribution spatiale presque homogène dans toutes les directions, qui peut être d'origine trafic ou industrielle.

On suppose ainsi que le trafic n'est pas une source significative des PUF mesurées sur le site de Grande-Synthe.

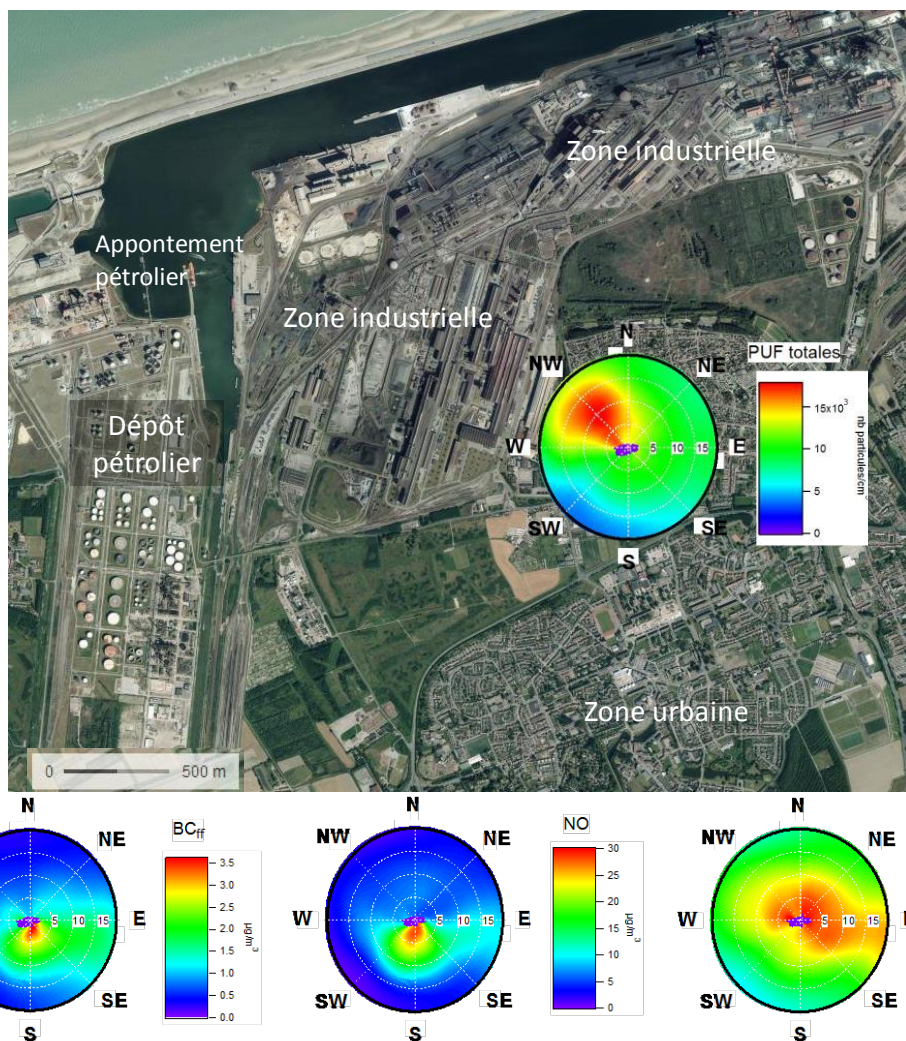


Figure 19 Roses de pollution PUF, BC_{ff} , NO_2 et NO à Dunkerque

La variation journalière du BC_{ff} montre 2 pics classiques aux heures de pointe (matin et soir) (Figure 20). Par contre, les PUF totales ne montrent pas une variation similaire dans la journée. Ce graphique confirme que le trafic n'est pas une source majeure des PUF mesurées à la station de Grande-Synthe.

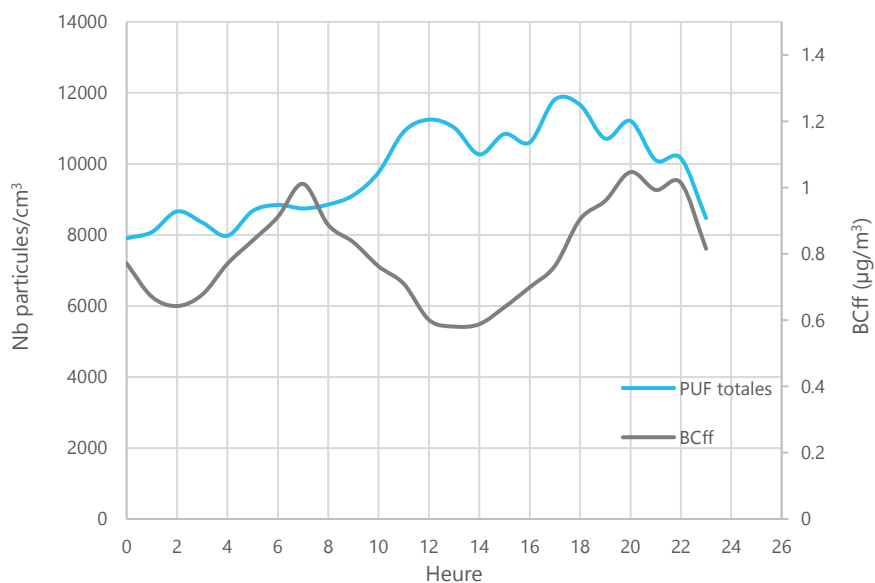


Figure 20 Variation journalière des PUF totales et BC_{ff} à Grande-Synthe

5.3.4. Campagne-lès-Boulonnais

Les concentrations de PUF les plus importantes (> 6000 particules/cm³) se trouvent dans les directions N-NE-E, qui correspondent à un quartier avec des maisons individuelles (Figure 21). Cependant, les PUF ne montrent pas une source locale importante comme pour les autres sites.

Il n'y a pas de mesures NO/NO₂ à cette station. La concentration BC_{ff} reste à un niveau très faible.

De plus, la variation journalière des PUF et BC_{ff} ne montre pas un cycle classique du trafic et il n'y a pas de similarité entre eux (Figure 22).

Toutes ces informations sont cohérentes avec la typologie du site : un site rural sans influence trafic ni industrielle. Pourtant, les PUF sont toujours présentes sur ce site. Ceci pourrait être expliqué par un niveau de fond régional et des émissions résidentielles locales (avec une faible densité de pollution : 46 hab./km²).

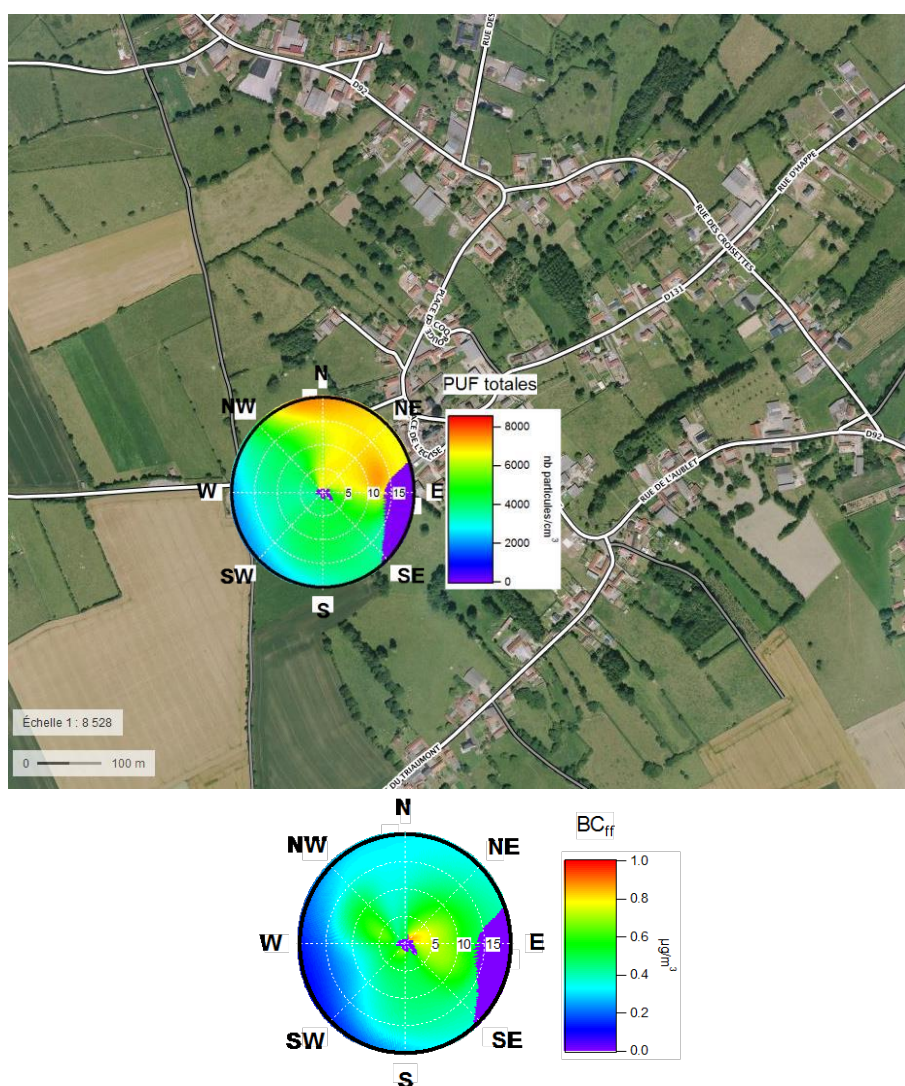


Figure 21 Roses de pollution PUF et BC_{ff} à Campagne-lès-Boulonnais

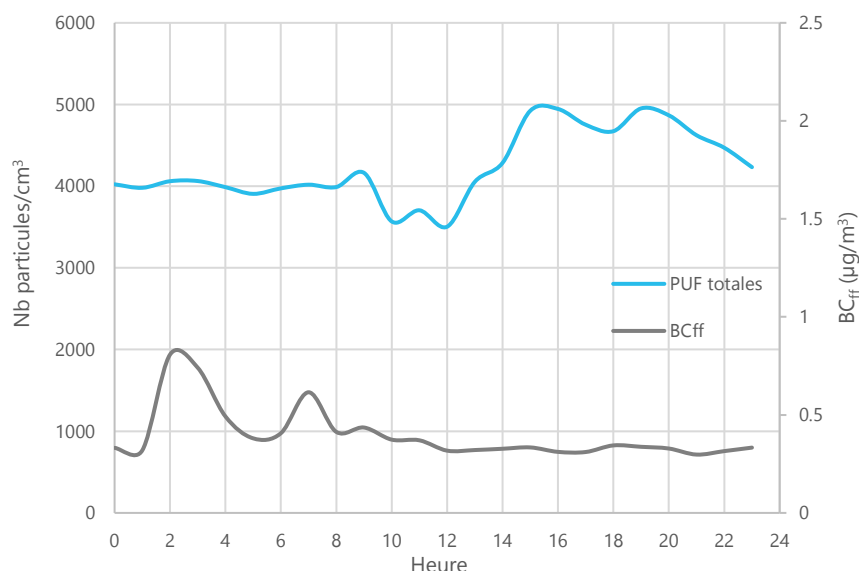


Figure 22 Variation journalière des PUF totales et BC_{ff} à Campagne-lès-Boulonnais

En résumé, le trafic est une source importante de PUF pour les sites urbains (Lille et Creil). En revanche, il n'est pas une source majeure des PUF pour le site industriel de Grande-Synthe et le site rural.

5.4. Formation de nouvelles particules

La formation de nouvelles particules est également considérée comme une source importante de PUF¹⁸ en air ambiant. Les études sur la formation et la croissance de particules atmosphériques nécessitent des mesures de particules en mode de nucléation (< 20 nm). Cependant, notre appareil UFP 3031 peut mesurer les PUF à partir de 20 nm. Aussi, dans cette étude, le canal 20-30 nm est utilisé pour estimer la formation de nouvelles particules avec quelques limites : i) pas d'observation pour la nucléation sous 20 nm ; ii) une large sous-estimation en concentration des PUF par ce type de source car les PUF inférieures à 20 nm sont beaucoup plus importantes en nombre.

5.4.1. Etude de cas

L'événement de formation de nouvelles particules a été observé à Lille, Creil et Campagne-lès-Boulonnais. La formation de nouvelles particules à Grande-Synthe sera discutée dans la section 5.6 car la condition de formation (fortes émissions industrielles) est très différente de ces 3 sites.

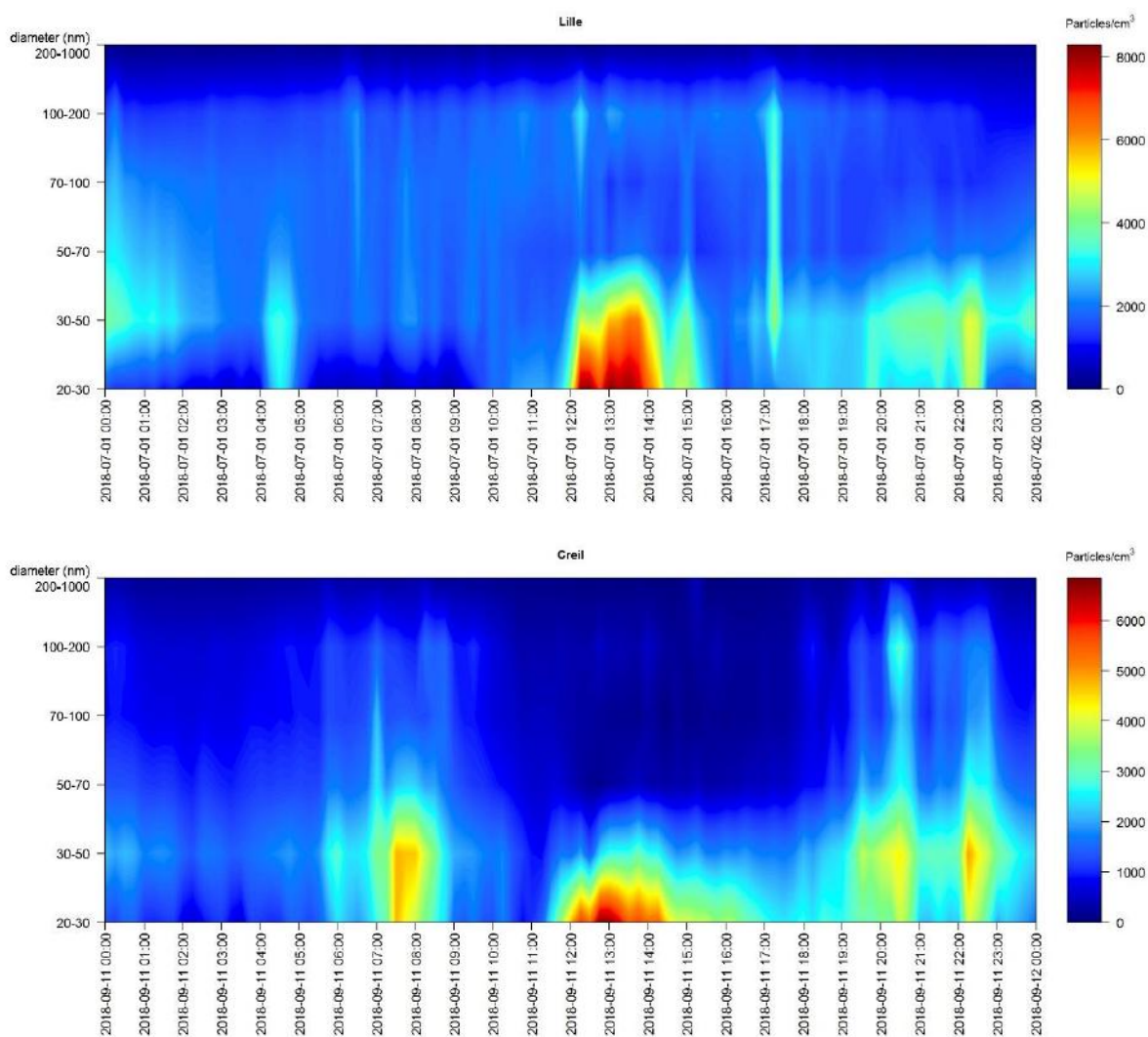
Dans la Figure 23, l'axe-x représente le temps dans la période étudiée. L'axe-y correspond aux 6 classes de taille de particules et la couleur du graphe dessine la concentration en nombre de particules (rouge : plus élevée ; bleu : plus faible).

¹⁸ M. Brines et al., "Traffic and Nucleation Events as Main Sources of Ultrafine Particles in High-Insolation Developed World Cities," *Atmos. Chem. Phys.* 15, no. 10 (May 28, 2015): 5929–45, <https://doi.org/10.5194/acp-15-5929-2015>.

A Lille et Creil, en début après-midi, l'augmentation du nombre de particules se fait dans la fraction plus fine des PUF. Cette observation ressemble à l'événement de la formation de nouvelles particules lié aux réactions photochimiques dans les zones urbaines, qui est décrit dans des études précédentes¹⁹.

A Creil, les pics liés au trafic du matin et du soir sont également observés pour les PUF dans la plage de taille de 30 à 50 nm.

A Campagne-lès-Boulonnais, dans un premier temps, les particules plus petites (20-30 nm) se forment entre 12h et 13h. Ensuite, elles grandissent vers les tailles 30-50 nm. Cet événement se termine vers 16h quand les réactions photochimiques sont moins importantes.



¹⁹ Li-Hao Young and Gerald J. Keeler, "Summertime Ultrafine Particles in Urban and Industrial Air: Aitken and Nucleation Mode Particle Events," *Aerosol and Air Quality Research* 7 (January 1, 2007), <https://doi.org/10.4209/aaqr.2007.02.0012>.

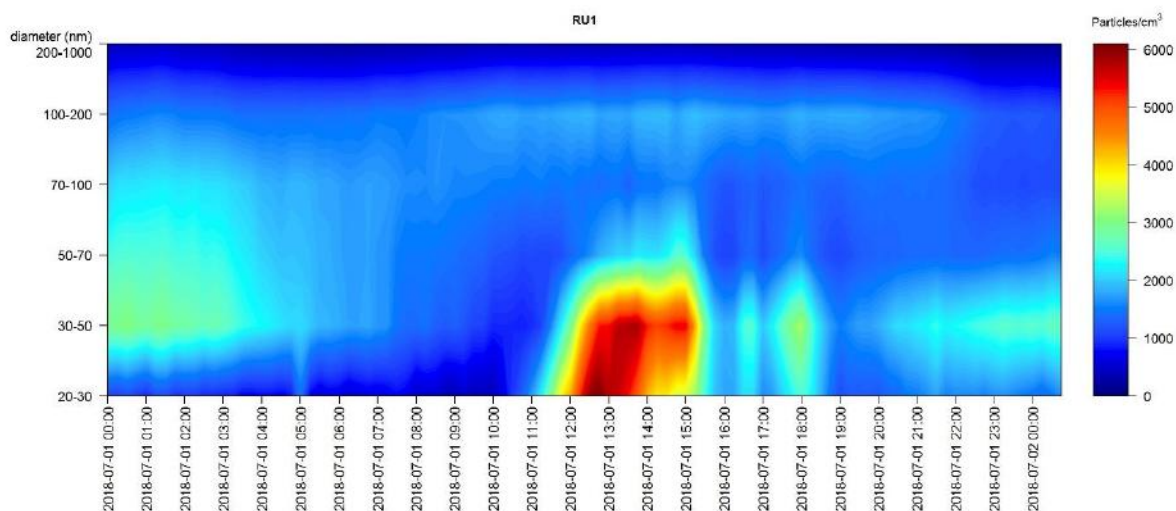


Figure 23 Événement de la formation de nouvelles particules (Lille, Creil et Campagne-lès-Boulonnais)

A Campagne-lès-Boulonnais, la série temporelle des PUF 20-30 nm est comparée avec l’ozone durant la période fin juin - début juillet. La concentration la plus élevée des PUF 20-30 nm correspond bien à la valeur maximale de l’ozone en début après-midi.

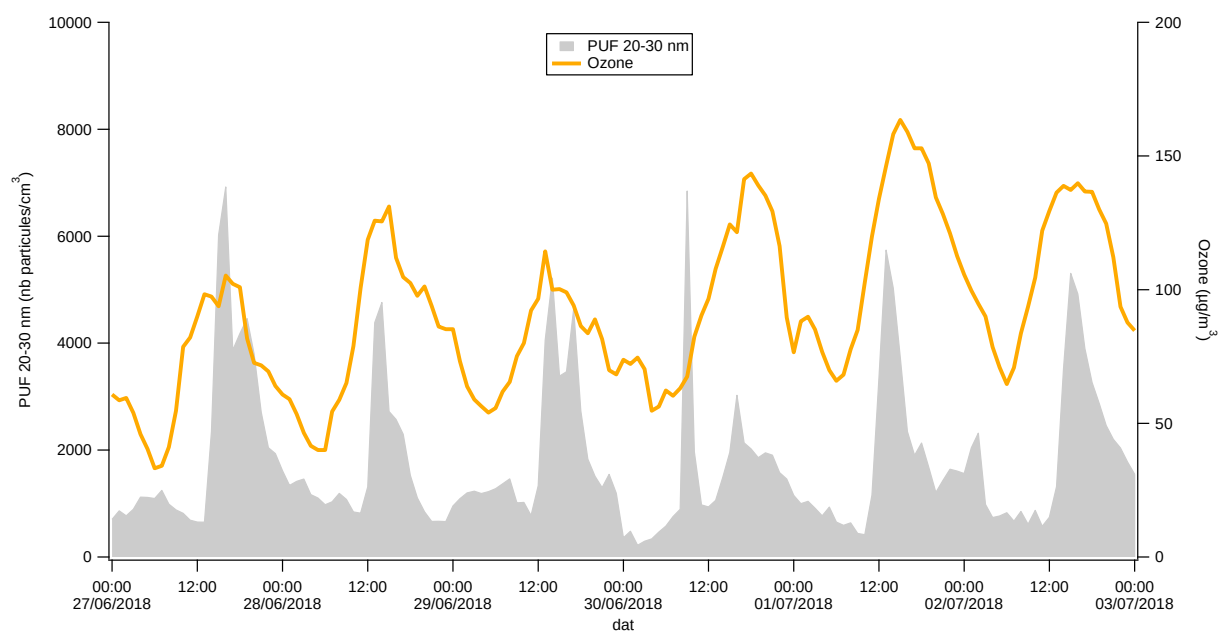


Figure 24 Série temporelle des PUF 20-30 nm et d’ozone en été 2018 à Campagne-lès-Boulonnais

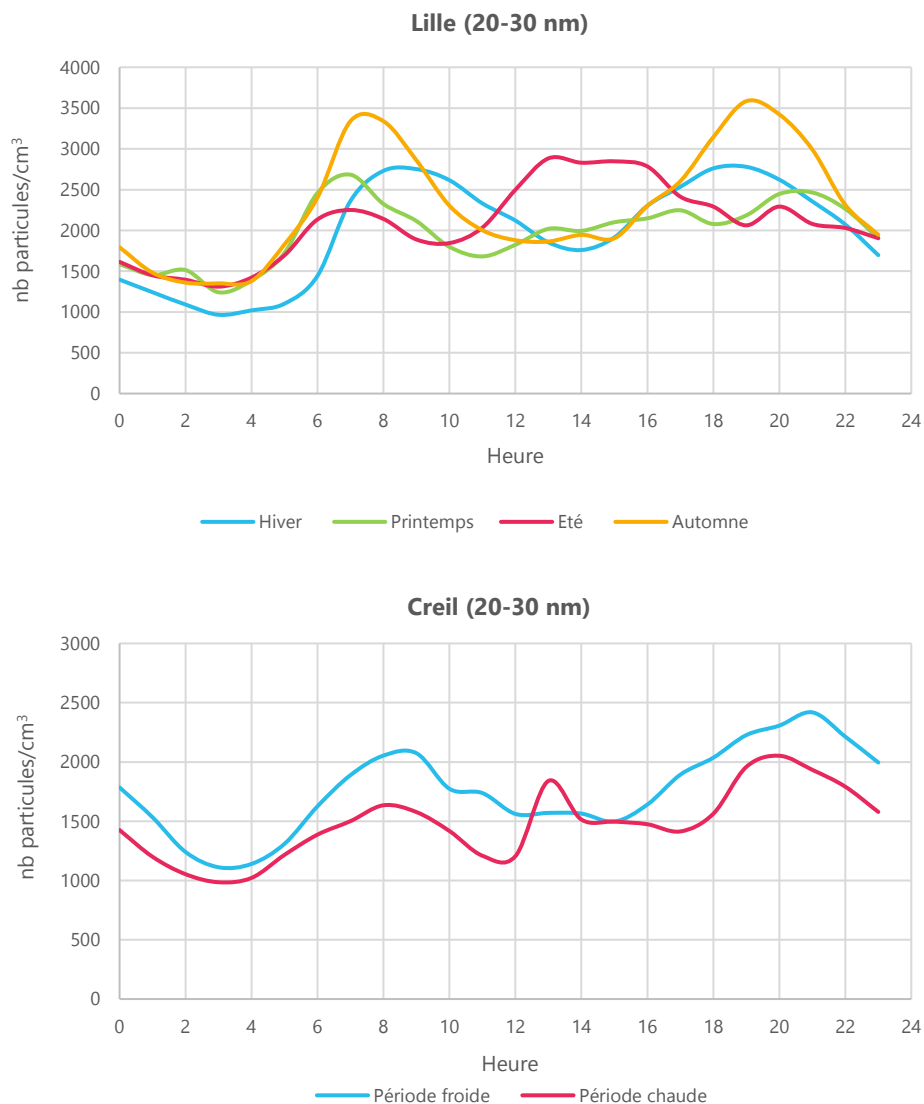
5.4.2. Variation saisonnière

La variation journalière des PUF 20-30 nm pour différentes saisons a été étudiée pour Lille, Creil et Campagne-lès-Boulonnais (Figure 25).

A Lille, les PUF 20-30 nm montrent une augmentation significative dans l’après-midi (12h-16h) en été. Ce phénomène n’a pas été observé en autres saisons. On suppose que la formation de nouvelles particules est une source importante des PUF dans la plus fine fraction en période estivale en lien avec la température et l’ensoleillement importants.

A Creil, la différence entre période chaude et froide est moins importante pour les PUF 20-30 nm. Néanmoins, on observe une augmentation en début après-midi (12h-14h) pour la période chaude. On présume que la formation de nouvelles particules a été observée à Creil en période chaude, mais sa contribution aux concentrations en PUF 20-30 nm est assez faible.

A Campagne-lès-Boulonnais, une différence significative pour les PUF 20-30 nm entre la période chaude et la période froide a été observée. En période froide, les PUF 20-30 nm restent à un niveau faible (~500 particules/cm³) et stable toute la journée. En période chaude, les PUF 20-30 nm augmentent significativement dans l'après-midi et contribuent de façon importante aux concentrations (> 2500 particules/cm³).



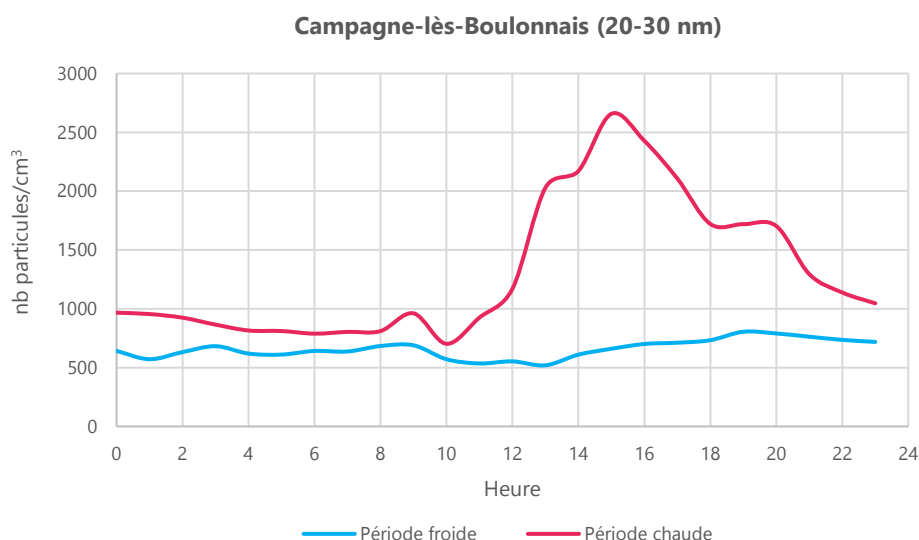


Figure 25 La variation journalière des PUF 20-30 nm pour différente saison (Lille, Creil et Campagne-lès-Boulonnais).

En résumé, la formation de nouvelles particules a été observée en période chaude à Lille, Creil et Campagne-lès-Boulonnais. Ce phénomène entraîne une augmentation significative des PUF 20-30 nm à Lille et Campagne-lès-Boulonnais

5.5. Influence du chauffage au bois

Les PUF entre 100-200 nm sont considérées comme des traceurs de la combustion de biomasse. Un cas de feux de forêt à Marseille montre une forte augmentation de concentration pour cette classe de taille de particules (Annexe 4). Néanmoins, certaines études montrent que la combustion de la biomasse peut émettre des PUF plus petites (20-50 nm). Dans cette partie, les PUF sont étudiées au regard de la fraction du black carbon lié à la combustion de biomasse (BC_{wb}).

5.5.1. Lille (trafic)

Le coefficient de détermination (R^2) entre le traceur de la combustion de biomasse (BC_{wb}) et les différentes classes de tailles de PUF est présenté dans le Tableau 10. Les PUF entre 100-200 nm montre une meilleure corrélation avec BC_{wb} .

Tableau 10 Coefficient de détermination (R^2) entre BC_{wb} et différentes classes de tailles de PUF (Hiver 2018)

R^2	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	200-800 nm
BC_{wb}	0.24	0.37	0.54	0.70	0.84	0.71

La variation journalière des PUF 100-200 nm est comparée avec celle du BC_{wb} en hiver et en été (Figure 26). En hiver, les deux paramètres montrent une variation très similaire : augmentation de la concentration importante dans la soirée et un pic du matin moins important, qui correspondent bien aux heures de l'utilisation du chauffage.

En été, la concentration du BC_{wb} diminue largement ($< 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En revanche, les PUF 100-200 nm montrent un niveau de fond stable ($\sim 800 \text{ particules}/\text{cm}^3$) toute la journée et un pic un peu plus important probablement lié au trafic du matin. D'autres sources de PUF 100-200 influencent également le site de Lille Leeds.

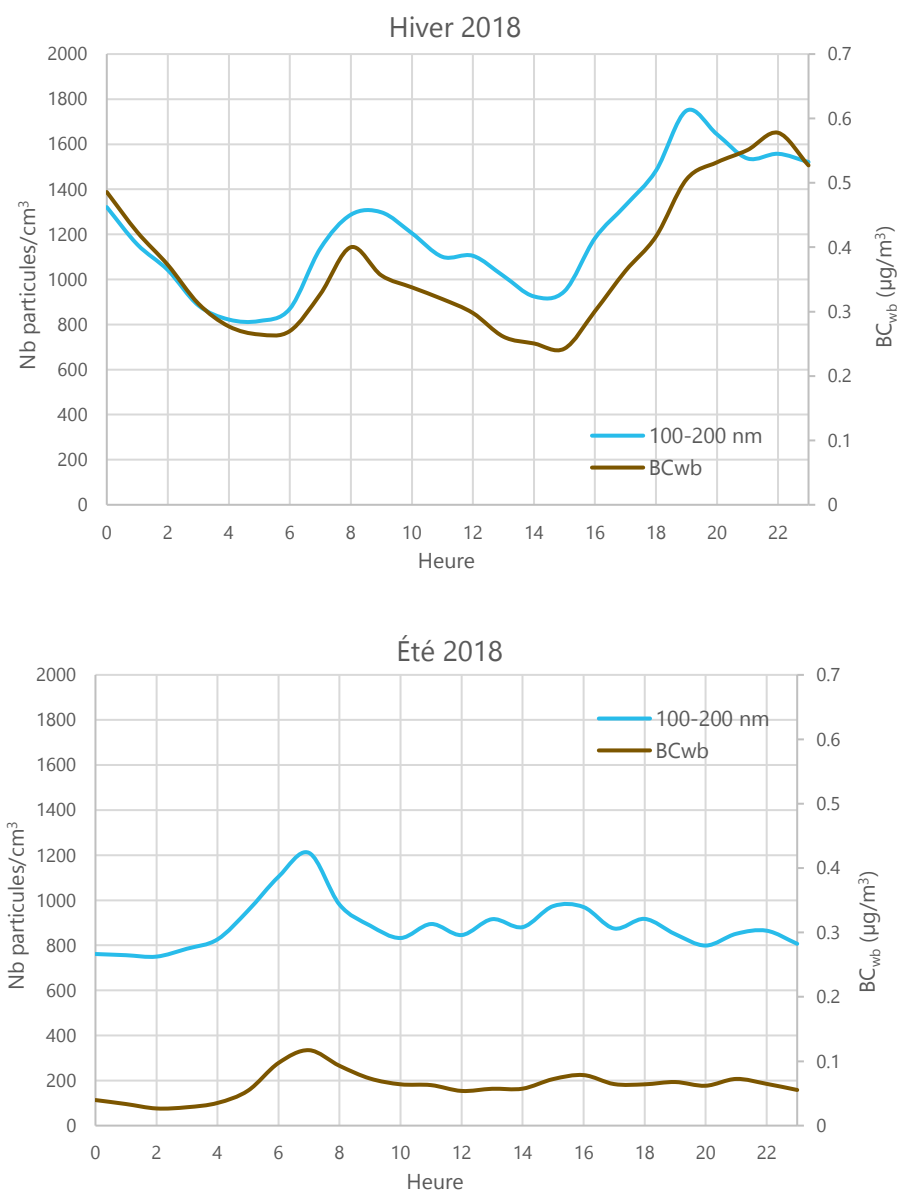


Figure 26 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BC_{wb} en hiver et en été 2018

Une étude de cas est donnée pour la nuit du 24 décembre (Figure 27). Une forte concentration pour les PUF 100-200 nm est observée à partir du 20h jusqu'à 24h, probablement en lien avec la mise en fonctionnement des cheminées pour la veillée de Noël.

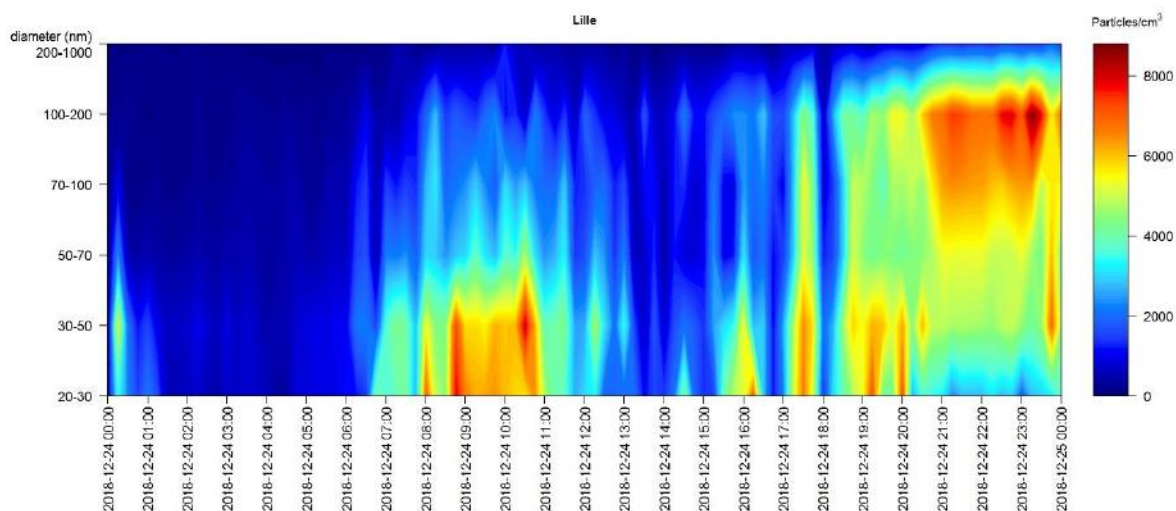


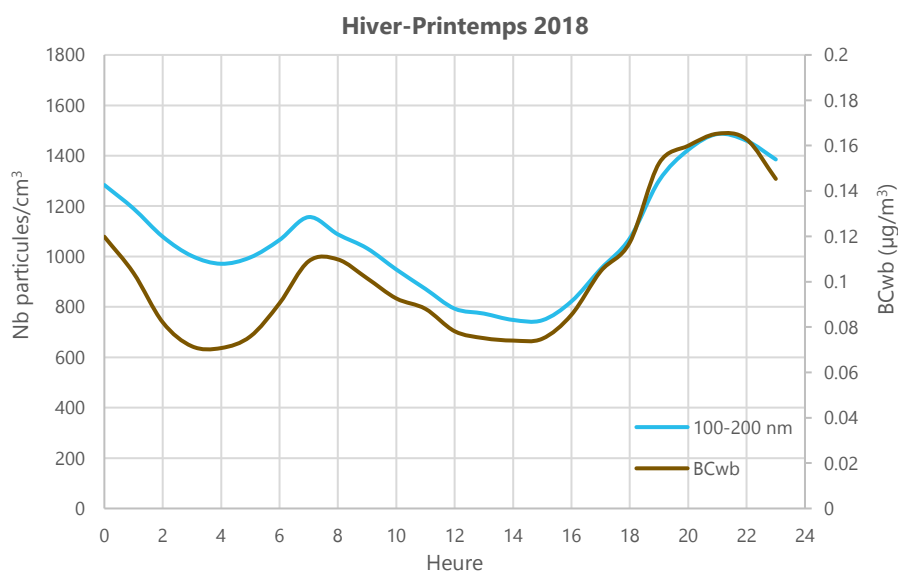
Figure 27 Etude de cas chauffage au bois à Lille

5.5.2. Creil

Les PUF 100-200 nm présentent aussi une bonne corrélation avec le BC_{wb} pour la période froide (Hiver-printemps) : $R^2 = 0.76$ (Annexe 5).

La variation journalière semble bien liée à l'utilisation du chauffage au bois : un pic du matin du 6h à 8h quand les gens se réveillent et le pic du soir à partir du 18h jusqu'à 2h du matin (Figure 28).

En été, les deux polluants diminuent largement et ne montrent pas un cycle diurne significatif.



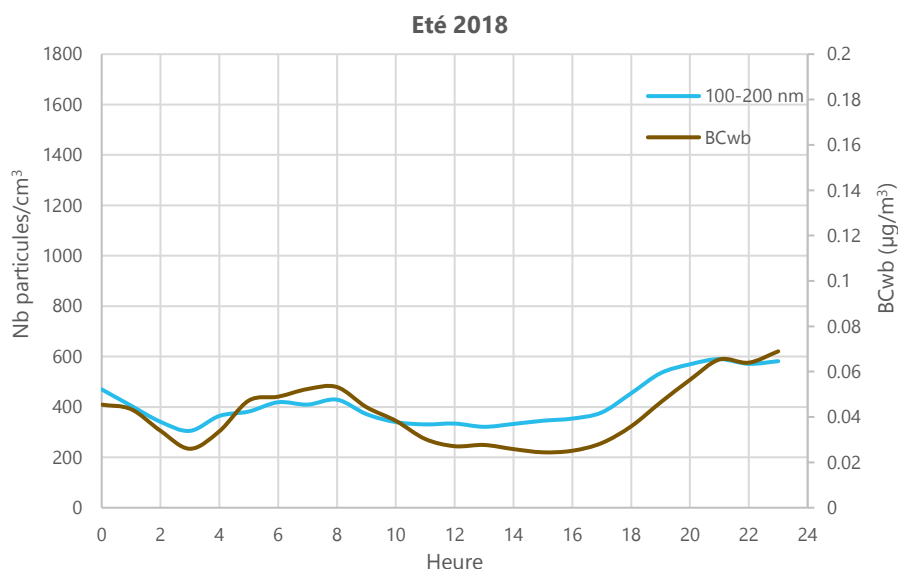


Figure 28 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BCwb en hiver et en été 2018

Une étude de cas est donnée pour illustrer les PUF émis par le chauffage au bois en période froide à Creil (Figure 29).

Les pics de trafic sont observés pour les PUF 20-50 nm le matin et le soir.

Dans la nuit (20h – 1 h du matin), les particules entre 100-200 nm deviennent plus importantes. Elles pourraient être émises par le chauffage au bois.

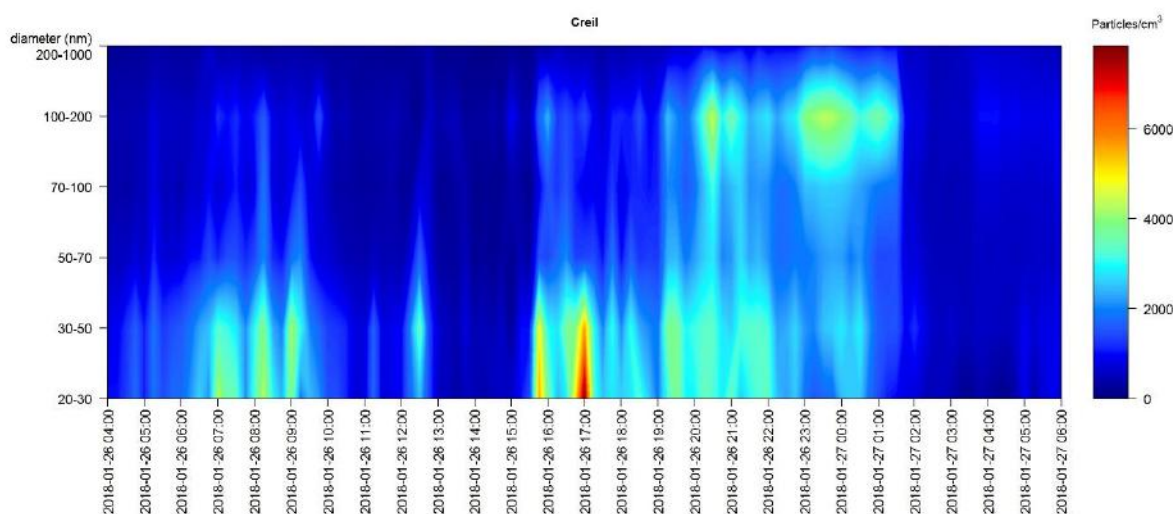


Figure 29 Etude de cas chauffage au bois à Lille à Creil

5.5.3. Grande-Synthe

A Grande-Synthe, le vent provient principalement du centre-ville en période froide et peut ramener les masses d'air influencées par le chauffage au bois.

Les PUF 100-200 nm montrent une bonne corrélation avec le BC_{wb} en période automne/hiver avec un coefficient de corrélation proche de 0.8 (Annexe 5). En hiver, ces deux polluants montrent une concentration plus importante pendant la nuit (Figure 30). Le pic du matin est plus évident pour le BC_{wb} que les PUF 100-200 nm.

En été, les concentrations en BC_{wb} diminuent, mais le niveau des PUF 100-200 nm reste importante dans la journée. Ceci indique qu'il existe d'autres sources que la combustion de biomasse pour cette classe de particule.

Une étude de cas est donnée pour la nuit 24-25 décembre (Figure 31). Les concentrations importantes des PUF se trouvent pour la gamme 100-200 nm à partir de 21h jusqu'au matin du lendemain.

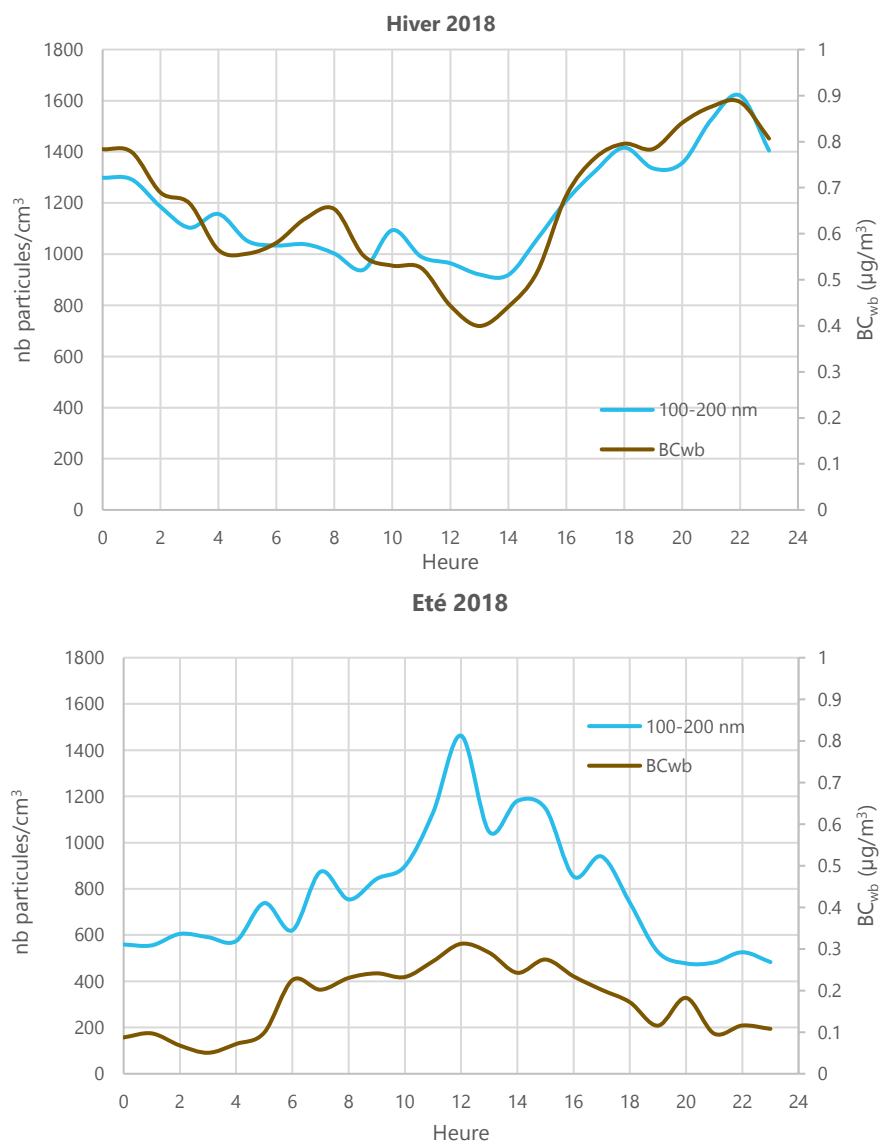


Figure 30 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BC_{wb} en hiver et en été 2018

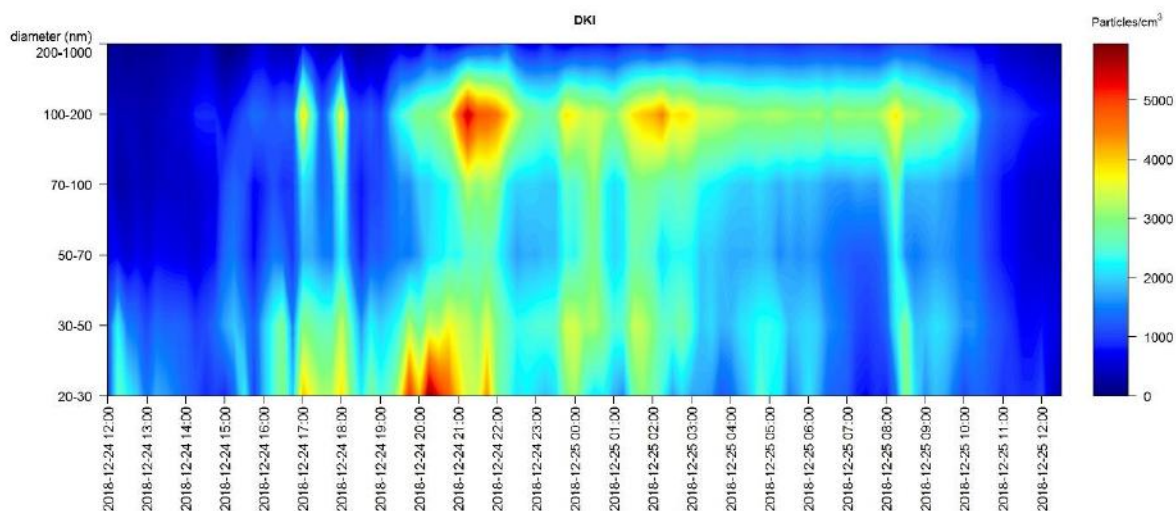


Figure 31 Etude de cas chauffage au bois à Grande-Synthe

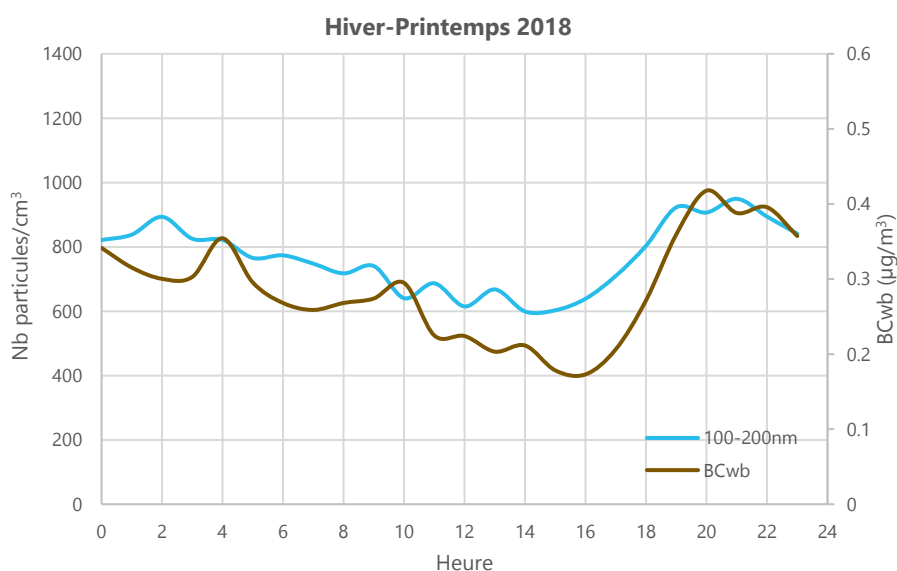
5.5.4. Campagne-lès-Boulonnais

Campagne-lès-Boulonnais présente la meilleure corrélation ($R^2 = 0.87$) entre les PUF 100-200nm et le BC_{wb} par rapport autres sites en période froide (Annexe 5).

En hiver, le niveau des PUF 100-200 nm et du BC_{wb} augmentent significativement entre 16h et 20h. Ils restent élevés pendant la nuit.

En été, le BC_{wb} diminue largement ($< 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les PUF 100-200 nm présente une concentration stable (~ 600 particules/ cm^3) qui représente le fond régional.

Une étude de cas en février 2019 montre que les PUF 100-200 nm constituent la totalité des PUF mesurées. Elles montrent 2 pics ponctuels à 1h et 3h du matin, et sont importantes entre 18h et 22h.



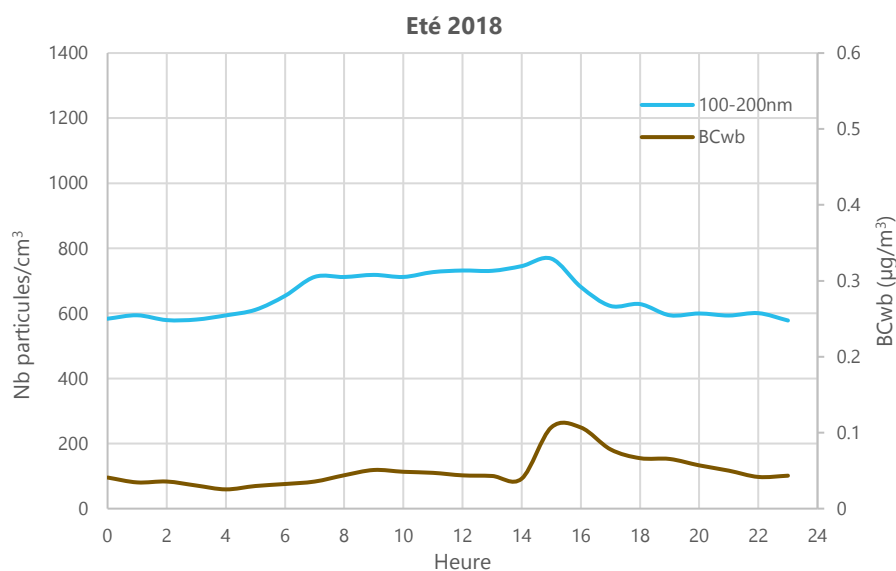


Figure 32 Variation journalière des PUF 100-200 nm et BC_{wb} en hiver et en été 2018

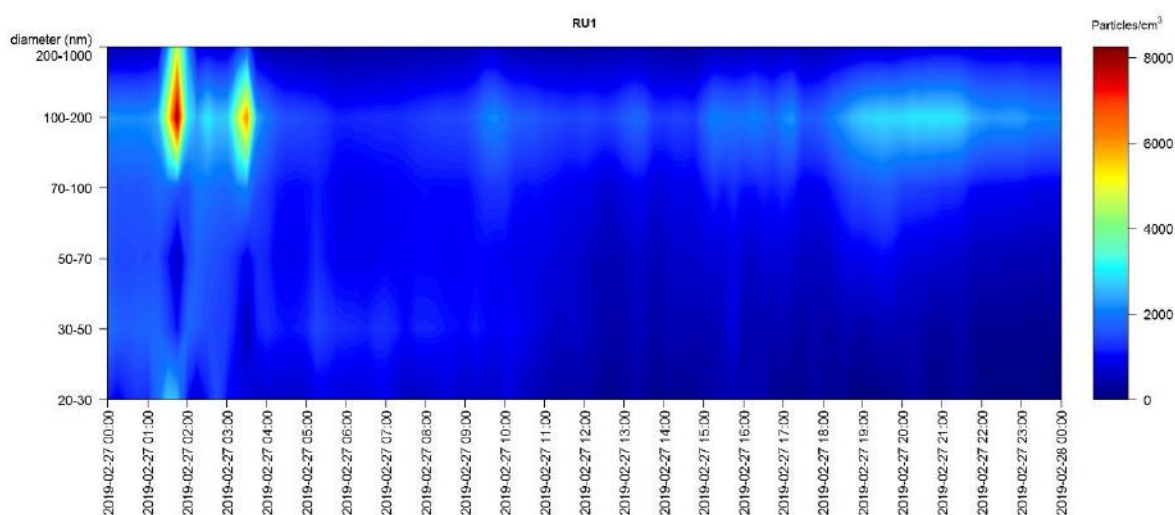


Figure 33 Etude de cas chauffage au bois à Campagne-lès-Boulonnais

En résumé, le chauffage au bois est une source des PUF en hiver pour tous sites étudiés, notamment pour les particules de tailles entre 100 et 200 nm.

5.6. Source industrielle et portuaire

Comme déjà discuté, la station de Grande-Synthe est sous de multiples influences, notamment les émissions industrielles et portuaires.

Comme la condition du vent est très différente pour les 2 phases de mesure (section 4.2), les résultats de mesures sont présentés par phase.

5.6.1. Phase 1

La phase 1 a eu lieu entre mi-avril et mi-juin 2018. Le vent provient principalement du nord et du nord-est avec une vitesse élevée (> 6 m/s).

Les roses de pollution pour les 6 classes de taille et les autres polluants sont présentées dans la Figure 34 et la Figure 35.

La rose de pollution pour les PUF les plus fines (20-30 nm) montre leur source principale dans les directions NW-W, où se situent la zone industrielle (aciérie, ferromanganèse...) et le port de Dunkerque (apponement pétrolier) (Figure 34). La rose montre deux sources potentiellement différentes : une dans la direction NW associée avec des vents entre 1-15 km/h ; une autre source dans les directions W-NW associée avec des vents plus forts (15-20 km/h).

Les PUF dans les classes 30-50 nm montrent une distribution spatiale très similaire aux PUF 20-30 nm avec une origine probablement industrie/port.

Les PUF dans les tailles 50-70nm et 70-100 nm montrent aussi une source dans la direction NW associée avec des vents entre 1-15 km/h.

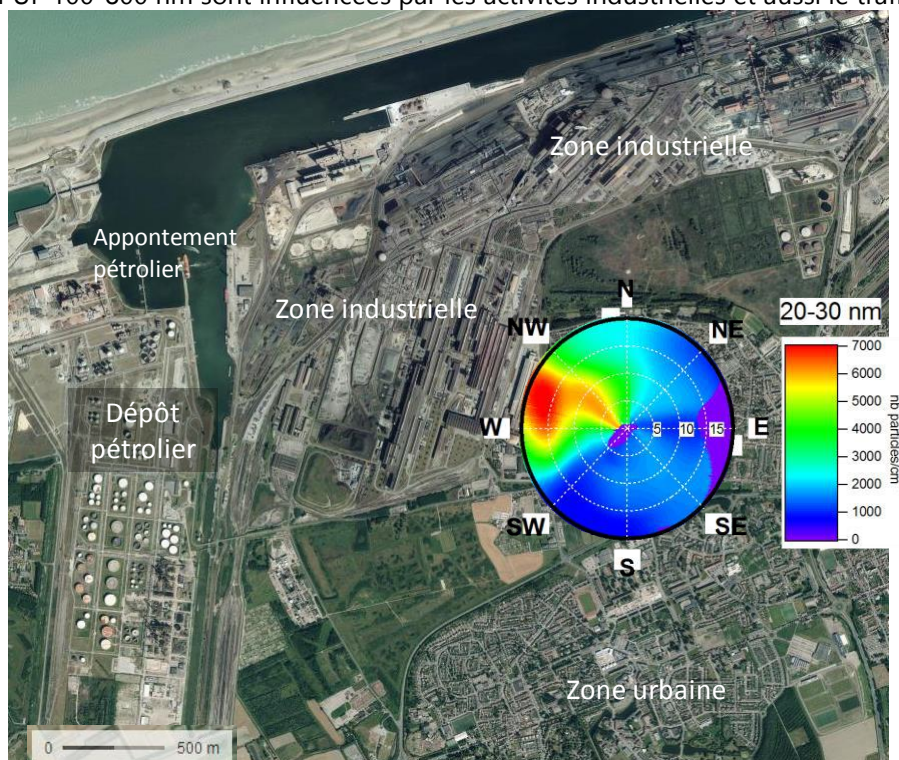
Le parallèle avec la rose du SO₂ permet de conclure que l'industrie est probablement la source principale pour les PUF (20-100 nm) dans cette direction.

Seules les PUF 20-50 sont associées à des vents plus forts (15-20 km/h) dans les directions W-NW. Comme elles ne sont pas liées au SO₂ et associées uniquement avec du vent fort, on suppose qu'elles sont probablement émises par les autres sources industrielles et/ou les activités portuaires.

Les particules > 100 nm montrent un comportement différent aux PUF < 100 nm. Elles présentent une distribution spatiale principale dans les quadrants nord (direction industrielle) et une concentration importante mais très locale dans la direction SE. La direction SE correspond à la route départementale D601. Les roses de pollution NO_x et BC confirment que le trafic est responsable pour ces PUF dans la direction SE.

Le CO ne montre pas une distribution corrélée avec les PUF.

Les sources principales des PUF (20-100 nm) à Grande-Synthe sont supposés être d'origine : industrielle ou/et portuaires. Les PUF 100-800 nm sont influencées par les activités industrielles et aussi le trafic local.



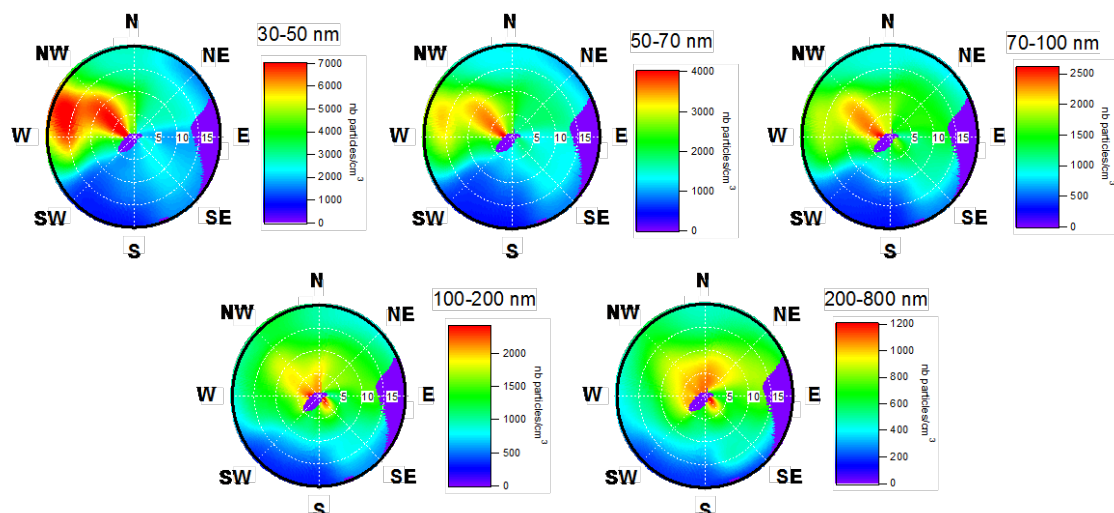


Figure 34 Roses de pollution pour 6 classes de tailles de particules (phase 1)

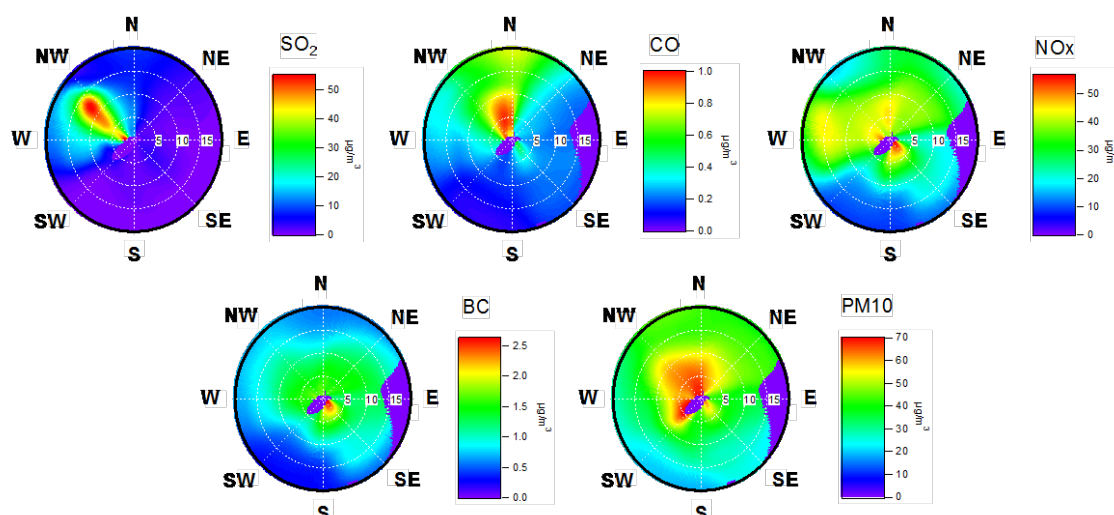


Figure 35 Roses de pollution pour les autres polluants mesurés à Grande-Synthe (phase1)

5.6.2. Phase 2

La phase 2 a eu lieu entre octobre et décembre 2018. Le vent provient principalement de la direction du sud avec une vitesse 4-8 m/s.

Les roses pour les PUF 20-30 nm et 30-50 nm sont très différentes des autres tailles de PUF.

Les PUF 20-50 nm sont associées avec les vents forts (15-20 km/h) dans les directions W-NW-N. Le SO₂ montre une rose très similaire dans la même direction avec le vent fort. On suppose que les émissions industrielles sont responsables des concentrations en PUF 20-50 nm malgré le peu de fréquence de vent de ce secteur.

Les PUF 50-800 nm montrent une rose similaire aux NO_x et BC, qui proviennent de la direction sud. Le trafic et le chauffage résidentiel peuvent contribuer à ces PUF et ont déjà discutés dans les sections précédentes.

Le CO et PM10 ne montrent pas de corrélation avec les roses des PUF.

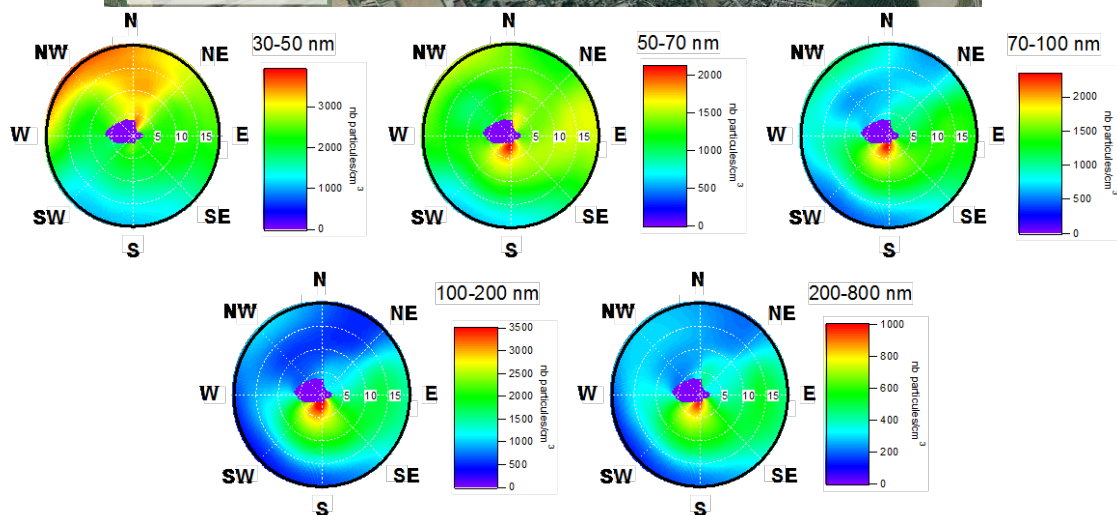
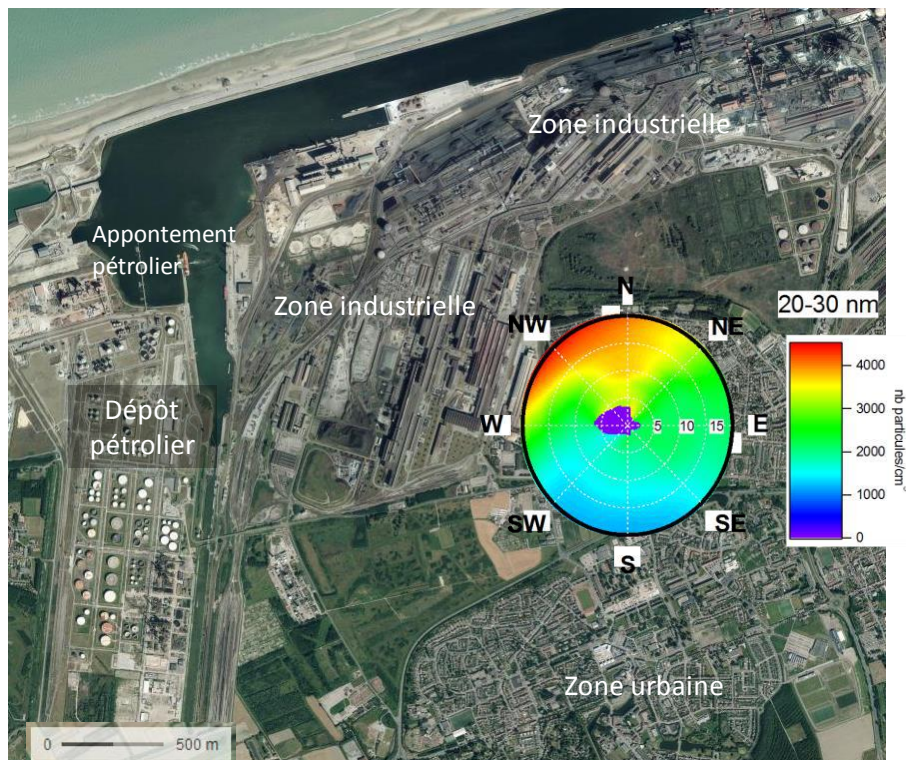


Figure 36 Roses de pollution pour 6 classes de tailles de particules (phase 2)

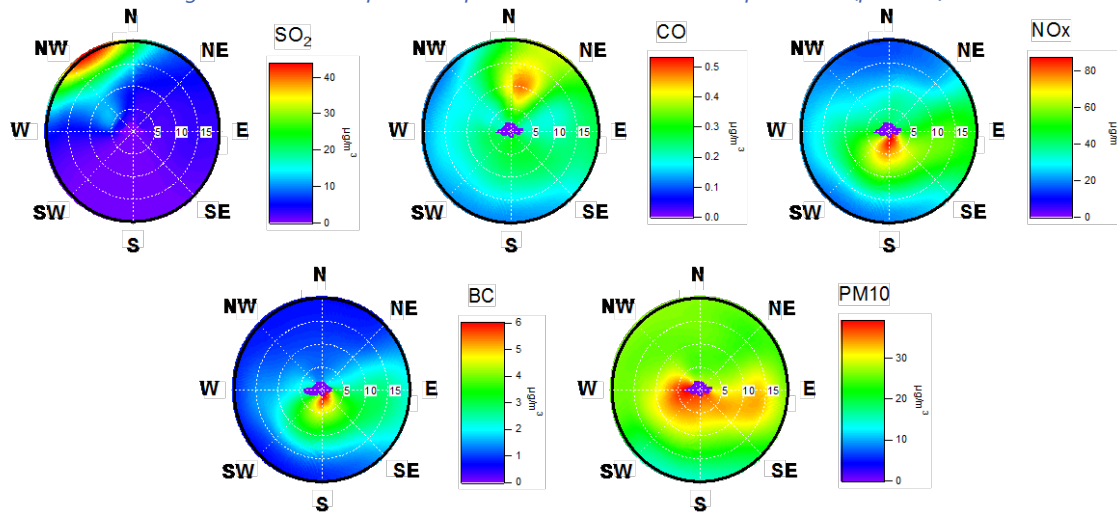


Figure 37 Roses de pollution pour les autres polluants mesurés à Grande-Synthe (phase2)

5.6.3. Formation de nouvelles particules

Une étude de cas est donnée dans la Figure 38. Une concentration importante ($> 50\,000$ particules/cm³) de PUF 20-50 nm a été observée entre 15h-16h. Une augmentation simultanée du SO₂ a été également observée. Les PUF entre 20-50 nm représentent la partie majeure des PUF totales. Les NO_x et BC ne montrent pas de variation similaire. Si les PUF étaient émises directement par le processus de combustion, les NO_x et BC devraient augmenter en même temps. Ceci indique les PUF observées n'ont pas été directement émises par des sources de combustion locales.

Cet événement a été corrélé avec le SO₂, suggérant l'implication potentielle de H₂SO₄ dans le processus de la formation de particules secondaires.

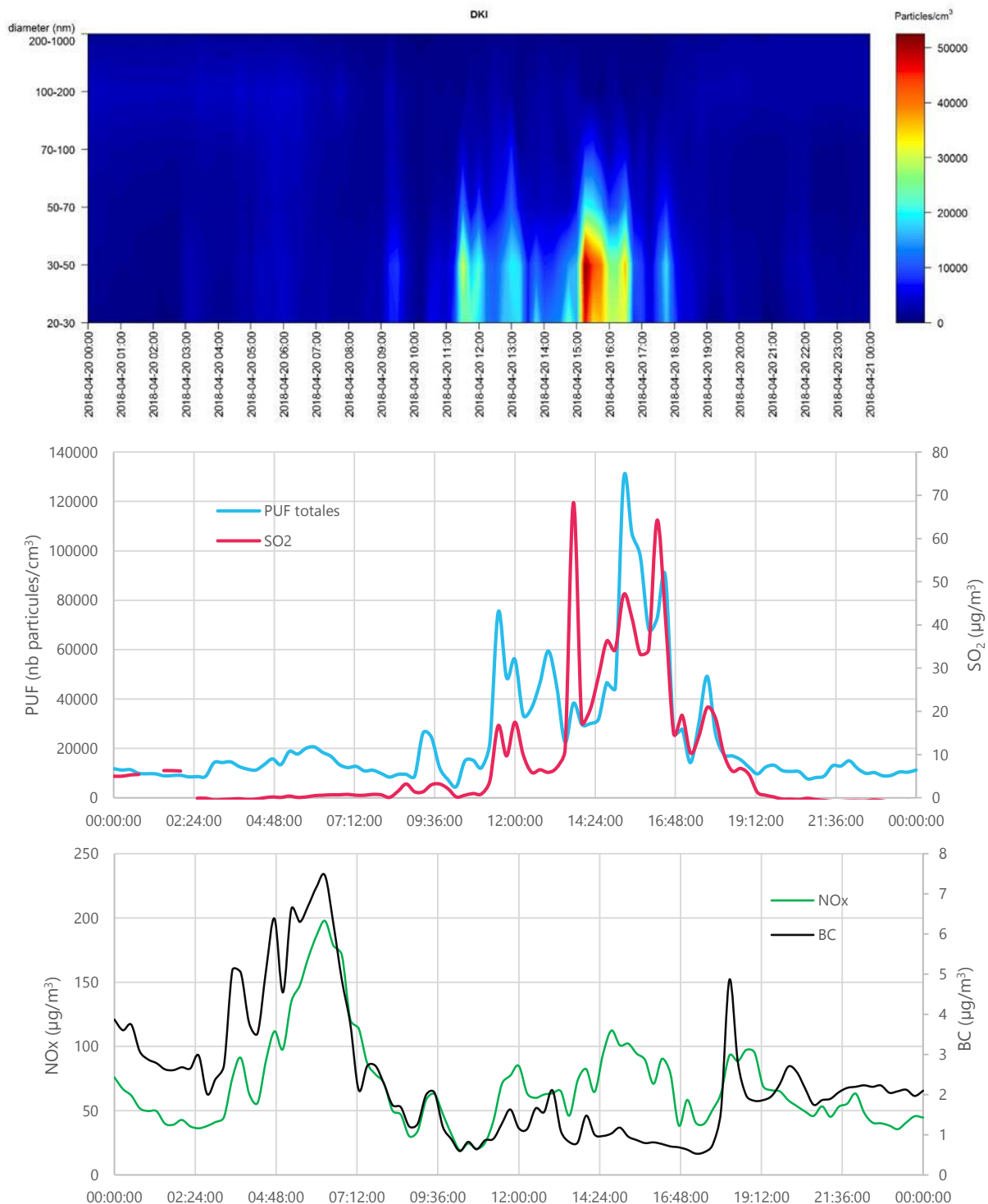


Figure 38 Etude de cas à Grande-Synthe le 20/04/2018

La variation journalière des PUF totales et du SO₂ est présentée dans la Figure 39. En période estivale, la formation de nouvelles particules est corrélée avec l'émission du précurseur gazeux SO₂ quand les réactions photochimiques sont importantes.

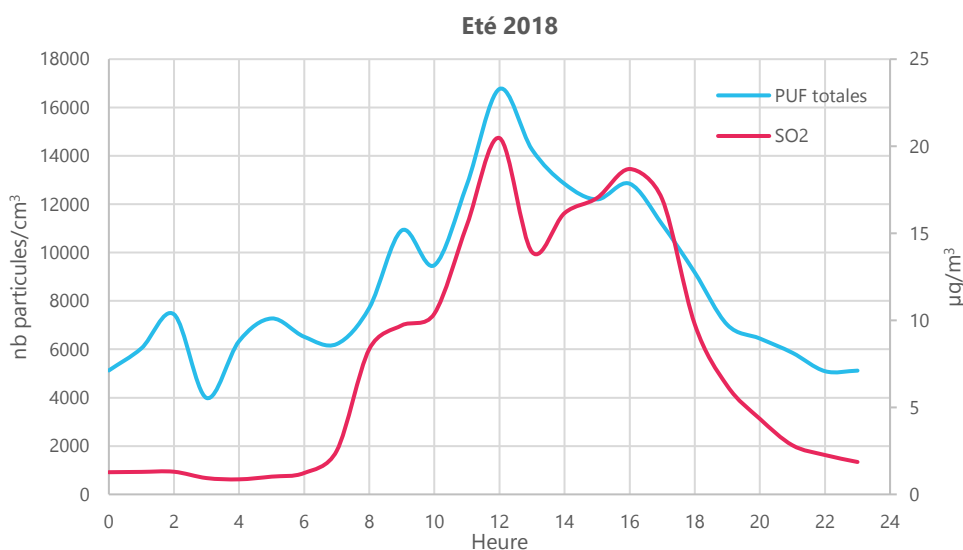


Figure 39 Variation journalière des PUF et SO₂ en été

En résumé, les activités industrielles/portuaires sont des contributeurs importants des PUF mesurées à Grande-Synthe : PUF primaires par les émissions directes mais aussi PUF secondaires en lien avec les précurseurs SO₂.

5.7. Épisode de pollution

En cas d'épisode de pollution aux particules PM₁₀ (moyenne journalière > 50 µg/m³), la mesure des particules ultrafines et du black carbon ont été utilisées pour mieux comprendre la nature de pollution.

3 études de cas à Lille sont présentées dans cette section.

Les PUF et le BC sont mesurés à la station Lille Leeds. Les concentrations PM_{ff} et PM_{wb} sont estimées à partir des mesures AE33, qui signifient les PM₁₀ liées à la combustion d'hydrocarbure (dont le trafic routier ici) et à la combustion de biomasse (dont le chauffage au bois ici), respectivement.

Les particules PM₁₀ et l'ozone sont quant à elles mesurées dans une autre station (type fond urbain) à une distance d'environ 2 km. Le rayonnement solaire est mesuré par la station météo France à Lesquin.

Un premier exemple d'épisode de pollution par les particules PM₁₀ en novembre 2018 montre que les sources locales primaires (trafic + chauffage au bois) représentent plus de 50% des PM₁₀ en concentration massique (axe à gauche). La concentration des PUF en nombre (axe à droite) montre une variation très similaire à ces deux sources.

On suppose que cet épisode de pollution aux particules PM10 est un épisode mixte : environ 50% de PM10 sont émis par les sources primaires (trafic + chauffage) et 50% de PM10 sont les polluants secondaires.

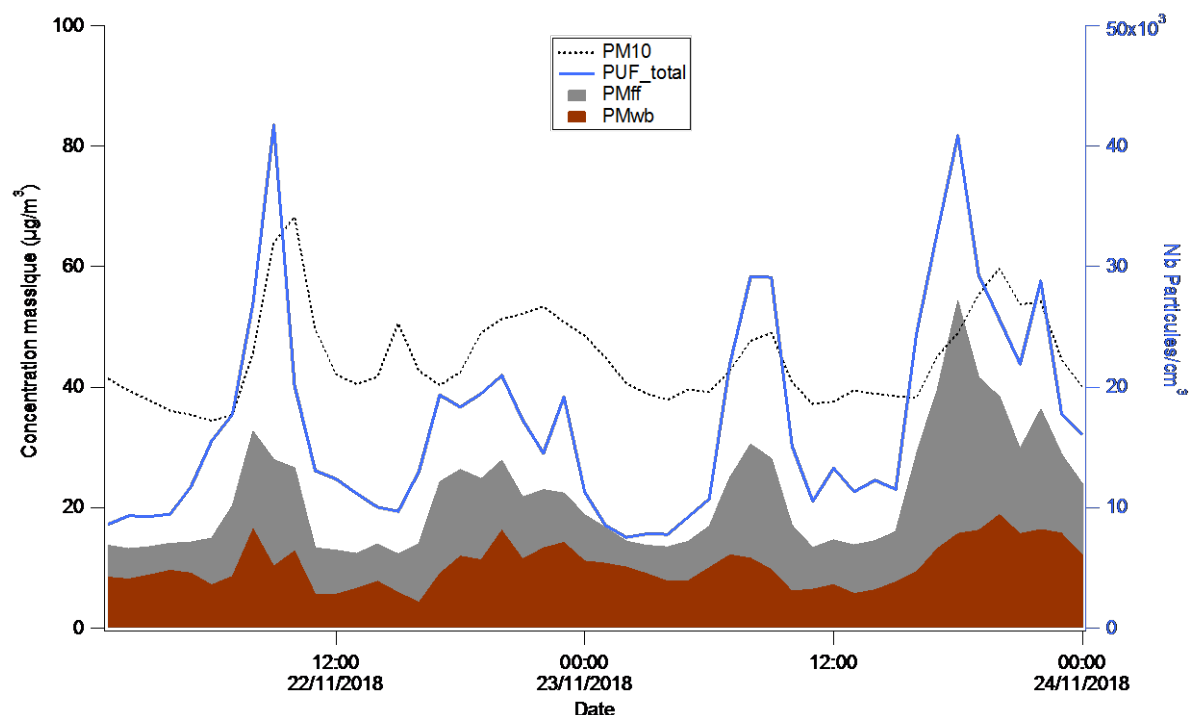


Figure 40 Episode de pollution aux particules PM10 novembre 2018

Le deuxième exemple, un épisode PM10 a eu lieu au mois de mai 2018. Cette fois-ci, la contribution aux particules PM10 par les sources locales (trafic + chauffage) est relativement faibles (10-20%). Les PUF et les PM10 ne varient pas de la même façon. On suppose que cet épisode est dominé par les polluants secondaires. La nature des composés secondaires peut être confirmée par d'autres analyses chimiques (méthode en continu ou différée).

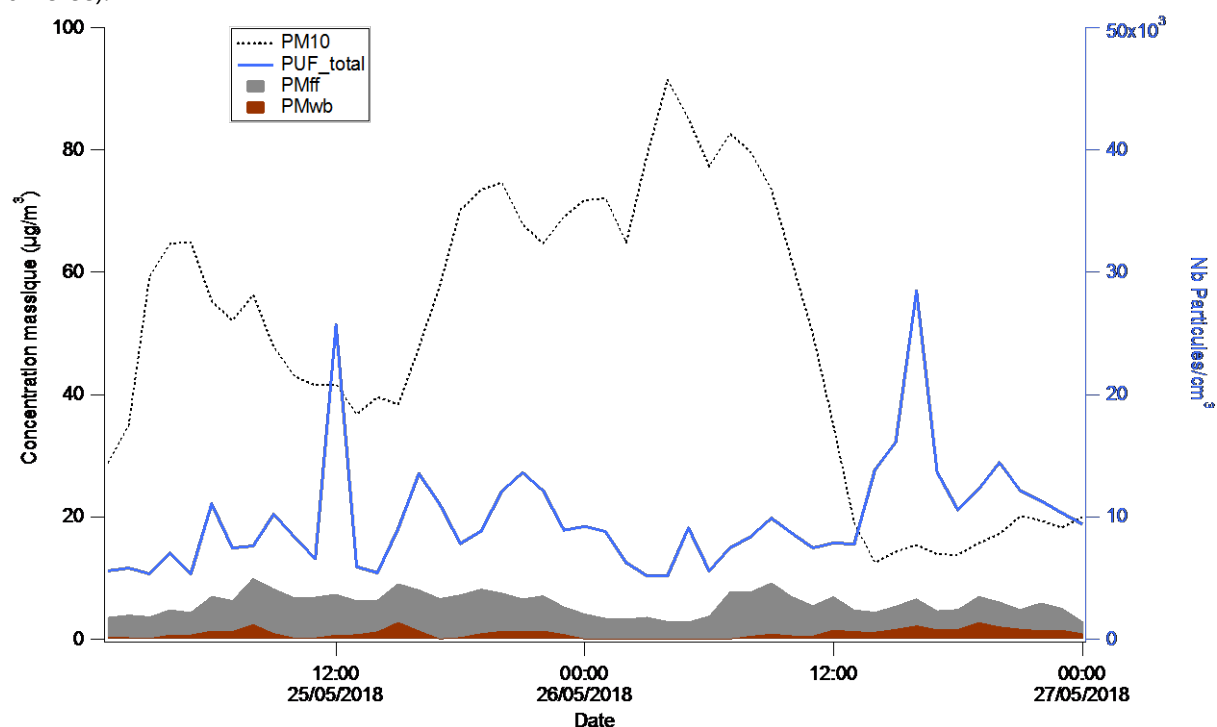


Figure 41 Episode de pollution aux particules PM10 mai 2018

Un épisode de pollution à l'ozone a eu lieu fin juin-début juillet 2018. Les PUF montrent une très bonne corrélation avec la concentration d'ozone. Les deux courbes commencent à augmenter quand le rayonnement solaire est à son maximum dans la journée. Les nouvelles particules et l'ozone sont formés par les réactions photochimiques.

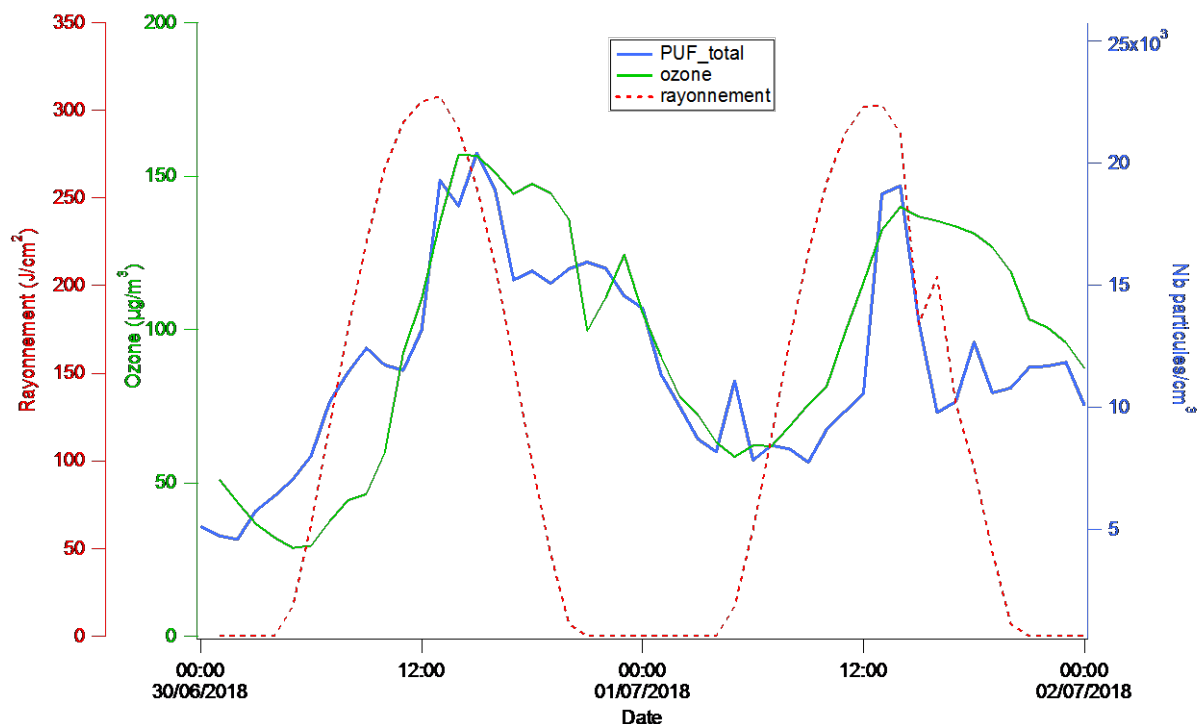


Figure 42 Episode de pollution à l'ozone fin juin 2018

En résumé, la mesure des PUF peut nous aider à mieux cibler les sources pendant les épisodes de pollution : les sources primaires locales (trafic, chauffage ou industriel), les sources secondaires ou les réactions photochimiques (formation de l'ozone).

6. Conclusion et perspectives

Cette étude présente la première documentation du niveau des particules ultrafines et leur granulométrie dans la région Hauts-de-France. Les mesures des PUF sont effectuées sur un site trafic à Lille en continu (toute l'année 2018) et 3 sites (Creil, Dunkerque et Campagne-lès-Boulonnais) d'observation courte durée (2x4 semaines).

La concentration en nombre des PUF en moyenne varie entre 4000 et 10 000 particules/cm³. Elle est plus faible dans un environnement rural et plus élevée pour les sites à proximité des sources d'émission (trafic ou industrielle).

Six classes de tailles de particules (20-30 nm, 30-50nm, 50-70 nm, 70-100 nm, 100-200 nm et 200-800 nm) sont étudiés pour comprendre les sources et les processus de formation de particules ultrafines. Les sources principales des PUF identifiées sont :

- Trafic routier : la source principale dans les sites urbains. Ce sont les PUF primaires.
- Formation de nouvelles particules : 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.
- Industrie/bateaux : selon la campagne effectuée à Grande-Synthe, les émissions industrielles et par les bateaux se trouvent dans les tailles 20-100 nm.
- Chauffage au bois : 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.

A Lille, le trafic routier est la source principale des PUF. Le chauffage au bois peut aussi contribuer aux PUF 100-200 nm pendant la période froide. En été, la formation des nouvelles particules est une source importante en lien avec les réactions photochimiques dans l'atmosphère.

A Creil, le trafic routier et le chauffage au bois sont les sources principales des PUF pendant la période étudiée. La formation de nouvelles particules est une source mineure à ces périodes.

A Grande-Synthe, les émissions industrielles et portuaires sont les sources majeures des PUF mesurées. Le trafic est une source mineure à ce site. Le chauffage au bois pourrait aussi contribuer aux PUF 100-200 nm pendant la période froide.

A Campagne-lès-Boulonnais, la formation des nouvelles particules et le chauffage au bois sont responsables pour les particules ultrafines observées en période chaude et froide, respectivement.

De plus, 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).

En perspective, nous organiserons une (inter-)comparaison de 3 techniques de mesures (SMPS : *Scanning Mobility Particle Sizer*, CPC : *Condensation Particle Counter* et UFP 3031) avec plusieurs partenaires : l'ISSeP (Institut Scientifique de Service Public, Wallonie, Belgique), Airparif, Atmo Nouvelle aquitaine, TSI, Addair, LNE et INERIS en été 2019. Son objectif principal est d'évaluer les performances des différentes techniques afin d'aider au choix du matériel pour une surveillance des PUF à long terme.

En 2019, des nouvelles campagnes de mesures se dérouleront en région Hauts-de-France pour documenter le niveau des PUF en nouveaux points territoires (Dunkerque Port, Calais et Valenciennes). Ce projet sera cofinancé par la Région Hauts-de-France. A partir du 2019, une stratégie nationale PUF/BC sera établie en collaboration avec des acteurs de la santé et en tenant compte de la future stratégie européenne.

Annexes

Annexe 1 : Glossaire

µg/m³ : 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.

NH₃ : Ammoniac

NO₂ : dioxyde d'azote.

NO_x : oxydes d'azote.

O₃ : ozone.

PM₁₀ : particules en suspension de taille inférieure ou égale à $10 \mu\text{m}$.

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.

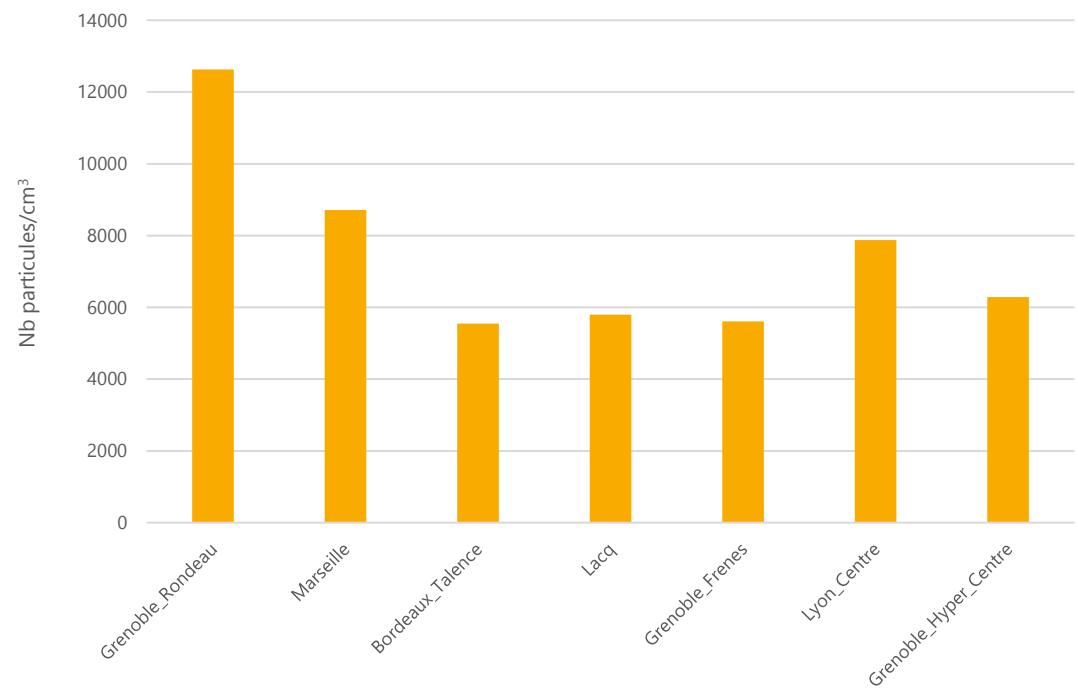
Polluant secondaire : polluant non émis directement, produit de la réaction chimique entre plusieurs polluants présents dans l'atmosphère.

PUF : Particules ultrafines

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

SO₂ : dioxyde de soufre.

Annexe 2 : Concentration en nombre des PUF moyenne dans les autres stations en France

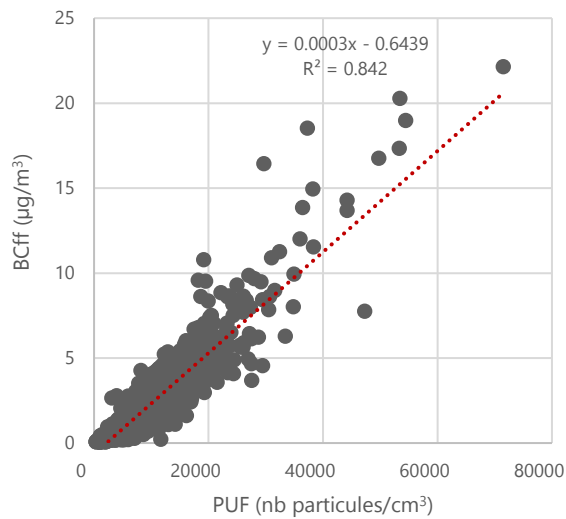


Les données à Marseille, Talence et Lacq sont les valeurs en moyenne en 2018.

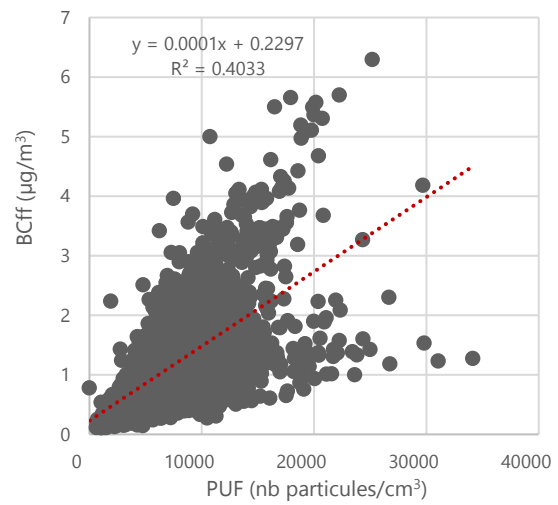
Les données à Grenoble et Lyon sont les valeurs en moyenne entre 2015-2016.

Annexe 3 : Corrélation entre PUF et les autres polluants

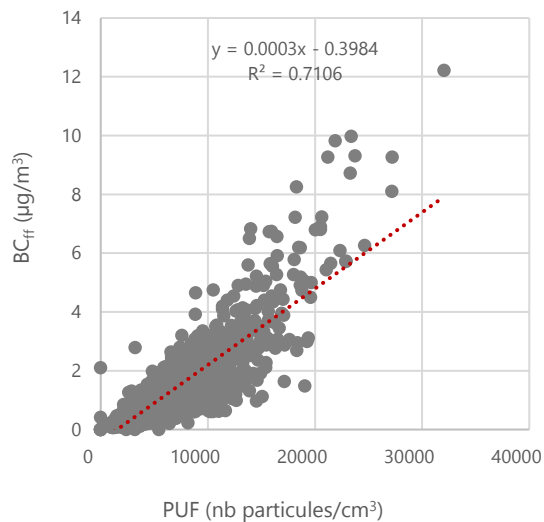
PUF et BC_{ff} : Lille (Hiver)



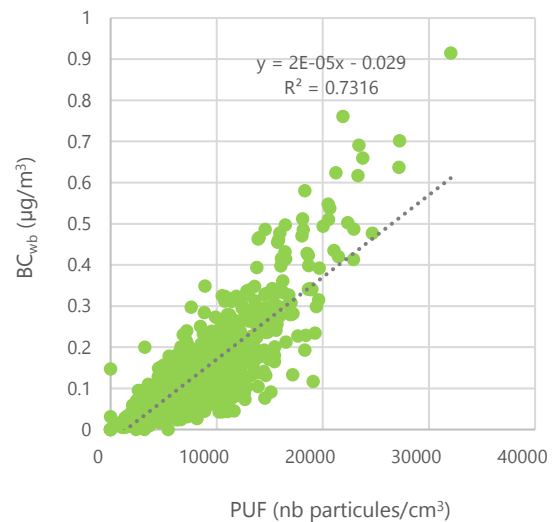
PUF et BC_{ff} : Lille (Eté)



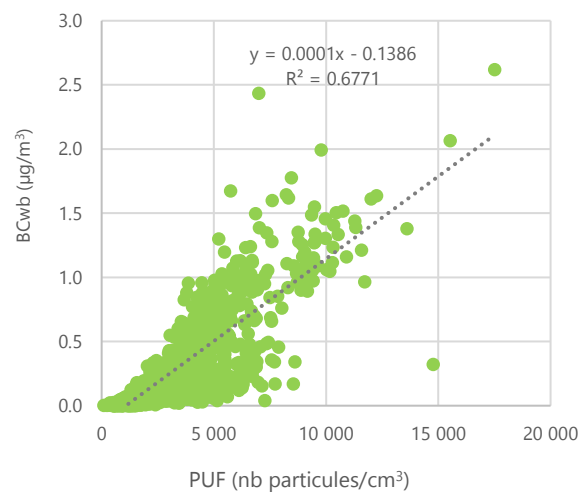
PUF et BC_{ff} (Creil : phase 1)



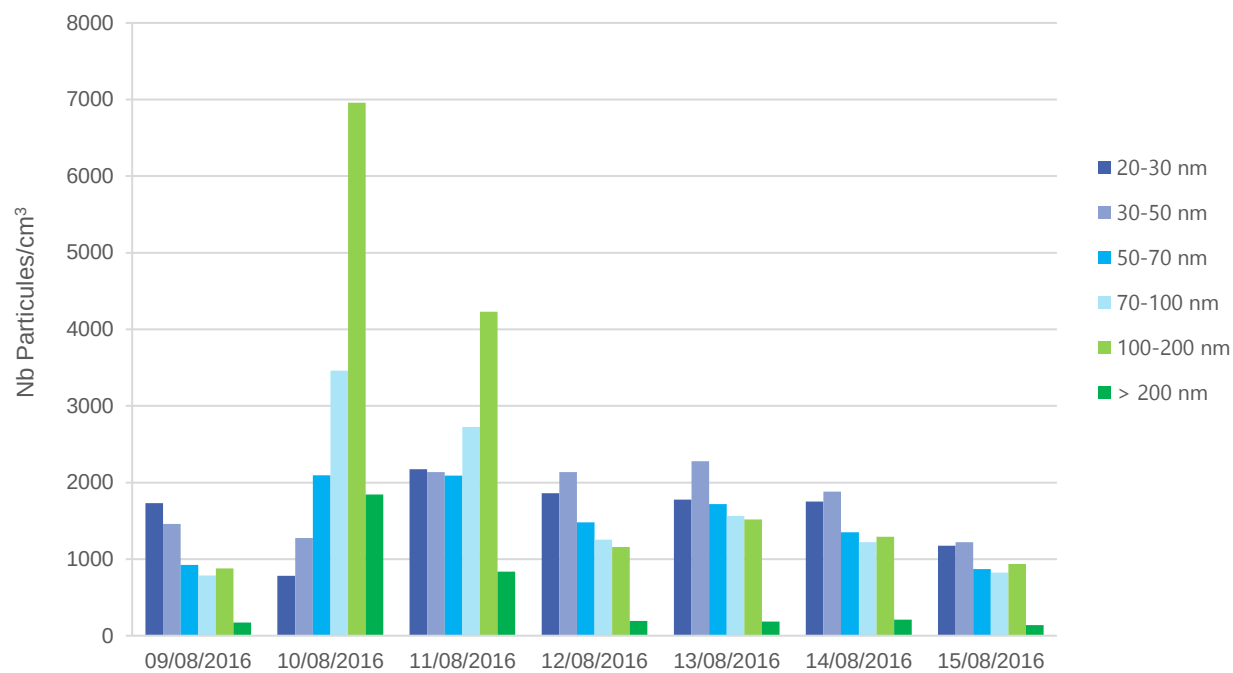
PUF et BC_{wb} (Creil : phase 1)



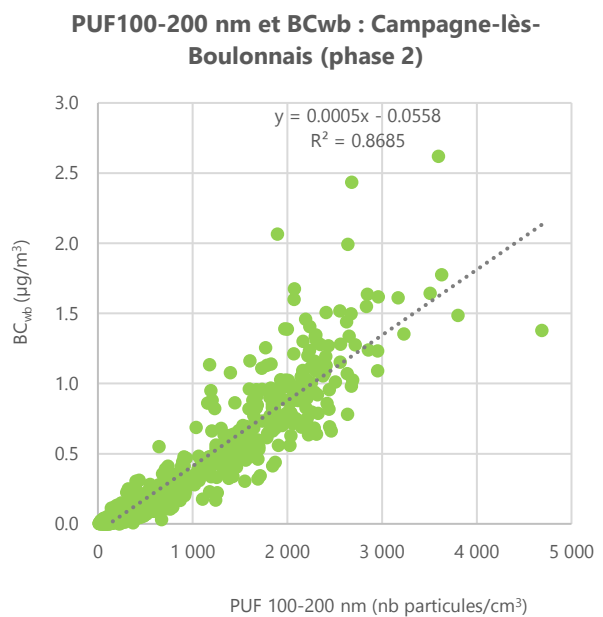
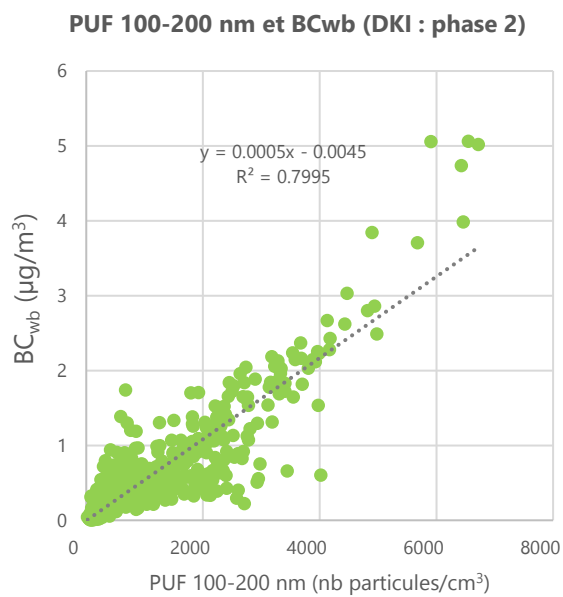
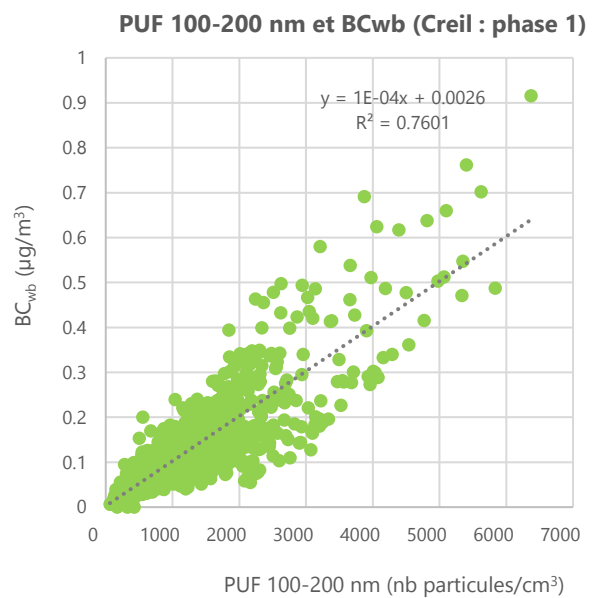
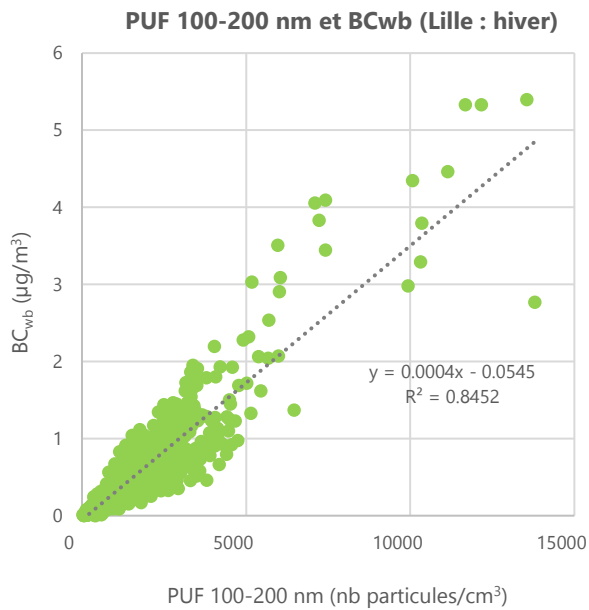
PUF et BC_{wb} : Campagne-lès-Boulonnais (phase 2)



Annexe 4 : Feu de forêt dans les Bouches-du-Rhône les 10-11 août 2016



Annexe 5 : Corrélation entre PUF 100-200 nm et BC_{wb}





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

Atmo Hauts-de-France

Observatoire de l'Air

199, rue Colbert – Bâtiment Douai

59000 Lille

