Atmo BFC
AIR - CLIMAT - ÉNERGIE
ACTEUR DE LA SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

Rapport de synthèse :

Mesures de la concentration en nombre de particules (ultra)fines à Montbéliard

Hiver et Printemps 2022-2023

Septembre 2023

Atmo Bourgogne-Franche-Comté est l'association agréée par le Ministère en charge de l'Environnement pour la surveillance de la qualité de l'air en région Bourgogne-Franche-Comté. Elle a pour principales missions :

Décliner et mettre en œuvre la stratégie de surveillance de la qualité de l'air de l'État français. Cela consiste en grande partie à produire des données (mesures, données d'émissions et de modélisation) qui répondent aux attentes qualitatives et quantitatives de l'Union Européenne ;

Prévoir les pics de pollution et diffuser l'information et les recommandations sanitaires ;

Sensibiliser la population et les décideurs aux enjeux sanitaires liés à la qualité de l'air ;

Réaliser des études prospectives dans le domaine de l'air (nouveaux polluants, nouvelles sources, nouvelles expositions…) ;

Réaliser des diagnostics et des prospectives pour aider à la décision à court, moyen et long terme ;

Accompagner les acteurs locaux pour atteindre le respect des normes en vigueur.

Conditions d'utilisation du rapport

La diffusion ou la réutilisation des données est libre dans les conditions suivantes :

Les données contenues dans ce document restent la propriété d'Atmo Bourgogne-Franche-Comté. Toute utilisation partielle ou totale doit faire référence à Atmo Bourgogne-Franche-Comté et au présent rapport ;

Le rapport ne sera pas forcément rediffusé en cas de modification ultérieure. En cas de remarques ou questions, prenez contact avec Atmo Bourgogne-Franche-Comté ;

Sur demande, Atmo Bourgogne-Franche-Comté met à disposition les caractéristiques techniques des mesures et les méthodes d'exploitation des données.

Rédaction du rapport : Amélie Chrétien

Validation du document : Pablo Campargue-Rodriguez

Crédits visuels : © Antoine Bardelli – Atmo BFC

Sommaire

Résumé **5**

1. État des connaissances sur les PUF **6**

1.1. Les PUF, qu'est-ce que c'est ? 6

1.1.1. PUF et autres particules en suspension 6

1.1.2. Les PUF en France 7

1.2. Origines et formations 7

1.2.1. Origines 7

1.2.2. Processus de formation 8

1.2.3. Nature chimique 8

1.2.4. Dynamiques et mécanismes physico-chimiques 9

1.2.5. Influence des paramètres météorologiques 9

1.3. Effets sur la santé et l'environnement 10

1.3.1. Santé 10

1.3.2. Environnement 11

2. Stratégie de mesure à Atmo BFC **12**

2.1. La station Montbéliard-Centre 12

2.1.1. Généralités 12

2.1.2. Spécificités 12

2.2. Instrumentation 14

2.2.1. Fonctionnement de l'analyseur 14

2.2.2. Période de mesure 14

2.2.3. Distinction entre PUF et CNP 15

2.3. Contexte météorologique 15

3. Synthèse des résultats **16**

3.1. Variabilité temporelle de la CNP 16

3.1.1. Profils mensuels et valeurs guides OMS 16

3.1.2. Profils hebdomadaires et journaliers 21

3.2. Origine de la pollution 24

3.2.1. Dynamique des masses d'air 24

3.2.2. Comparaison inter-polluants 26

3.3. La CNP comme outil de caractérisation de la pollution particulaire 28

Conclusion 31
Références 32
Glossaire 33

Résumé

Les particules ultrafines sont des polluants particulaires classés polluants « émergents » prioritaires depuis 2018, en raison de leur dangerosité en termes d'impacts sur la santé. Dans une dynamique d'intégration croissante du suivi de ces polluants par les Associations Agréées de Surveillance de la qualité de l'Air en France (AASQA), Atmo Bourgogne Franche-Comté a débuté des mesures de concentration en nombre de particules (CNP) en mars 2022, à la suite de l'acquisition d'un compteur de particules submicroniques « ENVI-CPC 100 ». Il permet d'obtenir la CNP de particules très fines (PM_1), majoritairement constituées, en nombre, de particules ultrafines (PUF). Le CPC a été installé à la station urbaine de « Montbéliard-Centre ».

Le présent rapport de synthèse établit un état des connaissances au sujet des PUF et valorise les résultats des premières mesures réalisées de décembre 2022 à mai 2023.

1. État des connaissances sur les PUF

1.1. Les PUF, qu'est-ce que c'est ?

1.1.1. PUF et autres particules en suspension

La pollution particulaire en suspension est étudiée et documentée depuis de nombreuses années en raison de son impact sanitaire important. Elle est constituée de particules pouvant être sous forme solide ou liquide, en suspension dans un élément gazeux.

Les particules en suspension, appelées « PM » (*Particular Matter* en anglais) sont classées selon leur diamètre « aérodynamique ». Il est défini comme le « diamètre d'une particule sphérique de densité égale à 1 g/cm^3 ayant la même vitesse de dépôt que la particule mesurée » (CNESST, 2023). Les différents PM sont :

- **PM_{10}**, particules grossières, de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
- **$PM_{2.5}$**, particules fines, de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm
- **PM_1**, particules très fines, de diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm
- **$PM_{0,1}$** ou **PUF, particules ultrafines,** de diamètre aérodynamique inférieur à 0,1 µm soit **inférieur à 100 nm**

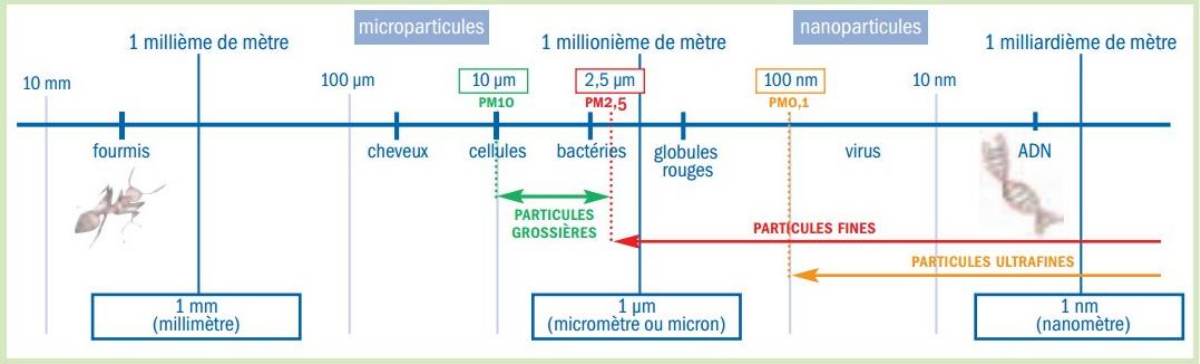

Figure 1 - Mise à l'échelle des particules en suspension (schéma Wiki Rennes Métropole, 2018)

La pollution particulaire ultrafine est étudiée depuis les années 90, mais reste peu documentée. Dans la littérature scientifique, les particules ultrafines sont nommées « $PM_{0.1}$ » ou « PUF » (« UFP » pour *Ultrafine Particle* en anglais) (Dall'Osto et al., 2011). Dans cet état des connaissances et dans la suite du rapport, le terme PUF est préféré en raison de leurs propriétés distinctes des autres PM.

Les PUF ont la particularité d'avoir une concentration en masse négligeable dans l'air ambiant, mais leur concentration en nombre est bien supérieure à celle des PM_{10}, $PM_{2.5}$ et PM_1. Ainsi, elles représentent 1 à 8% de la masse totale des polluants particulaires en milieu urbain mais **80% du nombre total de l'ensemble des polluants particulaires** dans ce même milieu (Morawska and al., 1998). D'autre part, les PUF constituent plus de 80% des PM_1, ce qui appuie la très faible contribution en nombre des particules de diamètre aérodynamique supérieur à 100 nm, et la contribution quasiment nulle des particules de diamètre aérodynamique supérieur à 1 µm. C'est pour cette raison que, contrairement aux PM dont la concentration est mesurée en µg/m^3, les PUF, et de plus en plus fréquemment les PM_1, sont mesurées en **« CNP »**

pour **Concentration en Nombre de particule** (« PNC » pour *Particle Number Concentration* en anglais), c'est-à-dire **en part/cm^3** (particules/cm^3).

1.1.2. Les PUF en France

Depuis 2018, les PUF sont classées polluants « émergents » prioritaires pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (SQA) par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES, 2018). Elles font depuis l'objet d'un intérêt national renforcé, aux côtés de treize autres polluants, dont le carbone suie (« BC » pour *Black Carbon* en anglais). Les seules réglementations de concentration de PM dans l'air ambiant concernent pour l'instant les PM_{10} et $PM_{2.5}$. Les concentrations en PUF dans l'air ambiant ne sont en effet pas encore soumises à une réglementation, que ce soit au niveau national ou européen. Cependant l'intérêt à leur sujet est grandissant.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a publié en 2021 de nouvelles lignes directives relatives à la qualité de l'air, qui incluent des recommandations de bonnes pratiques pour les polluants prioritaires encore non réglementés. Ce rapport souligne le manque de données relatives aux PUF, nécessaires à la mise en place de recommandations, et invite les organismes de surveillance de la qualité de l'air à inclure les mesures du nombre de PUF et de leur taille dans leur stratégie de surveillance courante (OMS, 2021).

Les premières mesures en station des AASQA en France ont eu lieu en 2012 dans le cadre de campagnes harmonisées au niveau national. Ce rapport fait suite au travail mené par les autres AASQA impliquées depuis 2011 dans le groupe de travail PNC piloté par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA, 2020).

1.2. Origines et formations

1.2.1. Origines

Qu'elles soient naturelles ou anthropiques, les PUF ont des origines variées.

En grande majorité, les PUF en suspension dans l'air ambiant sont d'origine anthropique. Les principales sources en milieu urbain sont d'abord la combustion et la condensation liées au trafic routier, puis le chauffage domestique, l'activité industrielle et les processus photochimiques.

La nature des PUF est différente selon qu'il s'agisse de véhicules diesels ou de véhicules essences. Certaines études montrent que les moteurs diesels entraînent la formation de davantage de PUF, et contribuent de 10 à 100 fois plus à leurs émissions par rapport aux véhicules essences (en termes à la fois de masse et de nombre) (Kumar et al., 2010).

- Les PUF d'origines anthropiques sont résultantes collatérales des activités anthropiques générant une combustion ou abrasion mécanique (moteurs, industrie, chauffage, travaux…).

- Les PUF d'origines naturelles sont issues de phénomènes agissant à des temporalités et localités précises (embrun marin en littoral, feux de forêt, volcanisme…).

Bien qu'il n'existe pas de réglementation sur la concentration de PUF dans l'air ambiant, la production et le stockage de nanoparticules manufacturées et les maximums d'émissions des véhicules diesels (normes « Euro 5 » et « Euro 6 ») sont réglementés par des normes européennes et nationales, participant au contrôle de ces émissions.

1.2.2. Processus de formation

Outre leur origine, les PUF naissent par formation primaire (particules émises directement dans l'atmosphère), mais plus majoritairement par formation secondaire (nucléation de nouvelles particules par réaction chimique ou changement de phase d'un gaz précurseur). Dès lors, est créé un noyau critique d'une taille d'environ 2 à 3 nm, dont la taille est suffisante pour qu'il soit soumis à des processus de coagulation (assemblage de particules) ou surtout de condensation du gaz environnant, qui participent au grossissement de la particule (Zhang et al., 2012).

Les évènements de nucléation courts et aboutissant à de très hautes concentrations de particules (à partir de 10^4 part/cm^3) sont courants dans les environnements urbains, forestiers et marins de la couche basse de la troposphère (Zhang et al. 2012). Les particules préexistantes, et de diamètre aérodynamique plus large, agissent comme des puits préférentiels par condensation des vapeurs de nucléation, pouvant freiner la formation de nouvelles PUF.

L'espèce nucléative la plus courante est l'acide sulfurique (H_2SO_4) en raison de son maintien à l'état gazeux à des conditions de température et de pression relativement faibles (Kulmala and Kerminen, 2008). Cette molécule est principalement issue de l'oxydation du dioxyde de soufre (SO_2) ou de diméthylsulfure (DMS), souvent émis à proximité d'industriels. Parmi les principaux précurseurs gazeux impliqués, on compte également l'ammoniac (NH_3) et les composés organiques volatiles (COV).

Cette nucléation de précurseurs gazeux est favorisée par la photochimie. On parle ainsi de « nucléation régionale photochimique », c'est-à-dire du processus de formation secondaire lié à l'influence du rayonnement solaire sur les processus chimiques atmosphériques. Ce type de nucléation est dite régionale en raison de sa dépendance à l'ensoleillement qui se mesure à une échelle locale à régionale.

1.2.3. Nature chimique

La composition chimique des PUF est encore peu étudiée en raison de leur petite taille. Leur composition est très variable, largement liée au type et au lieu de leur source d'émission. Cependant cette information est fondamentale pour mieux comprendre et évaluer leur toxicité.

Les particules primaires sont majoritairement du carbone suie, des sels (origine ionique ; chlore, sodium), des métaux (fer, titane), et d'autres composés organiques.

Les particules secondaires sont majoritairement des composés inorganiques, tels que les sulfates ou les nitrates.

La composition, les propriétés chimiques et les effets des PUF peuvent changer à la suite de réactions chimiques. Cela signifie qu'une particule ultrafine en suspension dans l'air ambiant, ayant une phase liquide ou solide, réagira avec des espèces chimiques en phase gazeuse pour former des particules aux propriétés différentes. Les PUF ont ainsi une grande réactivité chimique et suivent des changements rapides (Buseck and Adachi, 2008).

1.2.4. Dynamiques et mécanismes physico-chimiques

Les PUF sont en grande proportion des gouttelettes liquides et des matériaux semi-volatiles. Il existe cependant des PUF solides ou faiblement volatiles (Buseck and Adachi, 2008).

Les PUF ont des tailles, formes et propriétés physico-chimiques différentes et changeantes dans le temps. En effet, divers mécanismes régissent leur comportement, influant sur leur concentration et leur temps de vie dans l'air ambiant (Atmo Grand-Est, 2021) :

- La **condensation** de gaz selon la température et la pression, soit sur une particule préexistante, soit en formant une nouvelle particule par processus de nucléation
- La **coagulation**, c'est-à-dire l'assemblage de particules de différentes tailles. Elle a pour effet de changer la distribution granulométrique, en diminuant la fraction des particules les plus fines et augmentant la fraction des particules les plus grosses (Shi and al., 2001).
- L'**évaporation** qui, à l'inverse de la condensation, affine la particule ou provoque son passage complet à l'état gazeux
- La **dilution**, qui correspond au brassage des particules dans l'air, favorisé par des conditions météorologiques instables
- Le **dépôt sec**, c'est-à-dire le dépôt par sédimentation ou diffusion éolienne, affectant surtout les particules les plus grosses
- Le **dépôt humide,** c'est-à-dire le dépôt provoqué par des précipitations, lessivant l'air ambiant

L'ensemble de ces mécanismes interagissent entre eux, et sont régis par l'influence des paramètres météorologiques (Buseck and Adachi, 2008).

1.2.5. Influence des paramètres météorologiques

En raison des nombreux mécanismes physico-chimiques et paramètres météorologiques auxquels sont soumis les gaz précurseurs et les particules, les PUF observent une forte variabilité spatiale et temporelle. Les principaux paramètres météorologiques d'influence sont :

- La **température** : les températures fraîches favorisent la condensation, les températures élevées généralement accompagnées d'un fort ensoleillement favorisent l'évaporation et la photochimie, les inversions de températures stabilisent les masses d'air
- Les **précipitations** solides ou liquides provoquent un lessivage de l'atmosphère et une diminution des particules par dépôt humide, surtout les plus grosses
- Le **vent** permet le brassage des masses d'air, et peut favoriser la coagulation et la dilution des particules en suspension

- L'**humidité** joue un rôle dans la déliquescence des particules (passage de la phase solide à la phase liquide par absorption d'humidité de l'air) ainsi que leur grossissement (Sartelet, 2009)

Les PUF ont un temps de vie dans l'air ambiant en corrélation avec leur taille, de l'ordre de quelques minutes pour celles de diamètre aérodynamique de 1 nm, de quelques heures pour celles de diamètre aérodynamique de 10 nm, et de quelques jours pour les PUF les plus grosses (Buseck and Adachi, 2008). Ces temps de vie sont relativement courts et provoquent une forte variabilité temporelle.

1.3. Effets sur la santé et l'environnement

1.3.1. Santé

La présence des PUF dans l'air ambiant a des effets sanitaires importants. En 2013, dans le cadre du projet REVIHAAP, l'OMS indique une association entre des expositions à court-terme aux PUF et des **pathologies cardio-respiratoires et cardio-vasculaires ainsi que du système nerveux central**. De plus, des études cliniques et toxicologiques ont montré que les PUF agissent en partie selon des mécanismes différents des PM_{10} et $PM_{2.5}$ (OMS, 2013).

Le mode d'introduction majoritaire des PUF dans l'organisme est respiratoire, mais la voie cutanée et l'ingestion sont étudiées.

Contrairement aux autres PM de plus grande taille, les particules ultrafines ont une meilleure capacité à contourner les barrières de défense du corps. Elles peuvent ainsi traverser les alvéoles pulmonaires et les parois capillaires, puis circuler dans l'ensemble du système sanguin et de l'organisme.

De plus, en raison de leur plus grand nombre et de leur petite taille, les PUF ont une surface spécifique plus importante. Il s'agit du rapport entre la surface réelle (somme des surfaces individuelles des particules) et la masse des particules, et s'exprime en m^2/kg.

Les publics les plus sensibles et fragiles sont les enfants, les personnes atteintes de pathologies aggravantes (cardiaque, respiratoires), personnes enceintes, personnes âgées et les populations en précarité, souvent plus exposées.

En 2023, l'ANSES indique dans un rapport, relatif aux valeurs toxicologiques de référence des particules dans l'air extérieur, des relations causales suggérées entre les expositions aux PUF et l'exacerbation et le développement de l'asthme, et l'altération du neurodéveloppement et des performances cognitives, surtout chez l'enfant (ANSES, 2023). Cependant, en raison du manque de données relatives aux PUF et leur impact sur la santé, il est difficile d'établir des corrélations

claires entre les expositions aux particules ultrafines et des pathologies précises. Ainsi, aucune Valeur Toxicologique de Référence (VTR) n'est proposée pour les PUF.

Le manque d'études et données sur les pathologies associées aux concentrations en PUF dans l'air ambiant, empêche l'établissement de recommandations et seuils sanitaires, tel que le soulignent l'ANSES et l'OMS.

Néanmoins, dans son rapport de 2021, l'OMS indique des valeurs guides qui définissent :

- **les concentrations inférieures à 1 000 part/cm3 comme des concentrations basses (moyenne sur 24h),**
- **et les concentrations supérieures à 10000 part/cm3 (moyenne sur 24h) et supérieures à 20000 part/cm3 (moyenne sur 1h) comme des concentrations hautes.**

Ces valeurs ne sont pas basées sur des critères épidémiologiques et ont pour seul objectif de qualifier les niveaux de concentration (OMS, 2021).

1.3.2. Environnement

Les effets des particules ultrafines sur l'environnement sont moins bien compris, mais sont de plus en plus étudiés. Les principaux impacts sont liés à la **perturbation des régimes climatiques et météorologiques**, ainsi que la **perturbation de la biosphère**.

- Du point de vue climatique, et de façon similaire aux autres PM, les PUF peuvent influencer le bilan radiatif terrestre par absorption (réchauffement) et diffusion vers les couches supérieures de l'atmosphère (refroidissement) du rayonnement solaire, ou encore modification de l'albedo lors de leur dépôt (Zhang and al., 2012). Leur surface spécifique plus importante que celle des autres PM augmente leur pouvoir perturbateur du forçage radiatif. Ainsi, selon les paramètres et spécificités de chaque cas, les PUF ont un impact plus ou moins important que les $PM_{2.5}$ sur le bilan radiatif (Buseck and Adachi, 2008).
- Du point de vue météorologique, les PUF peuvent impacter la dynamique de formation des nuages et le régime de précipitations liquides ou solides dans certaines zones. En effet, les particules ultrafines peuvent constituer un noyau de condensation pour les molécules d'eau dans l'atmosphère et ce dès l'ordre d'une dizaine de nanomètres de diamètre (Zhang and al., 2012). Dans des cas extrêmes, la modification des régimes de précipitations peut entraîner des inondations, des sécheresses ou des avalanches.
- Du point de vue de la biosphère, les polluants particulaires peuvent altérer les échanges gazeux au sein de la plante. Cela a pour effet de perturber la photosynthèse ainsi que de favoriser le développement d'organismes pathogènes (Garrec, 2019). Les particules se propagent dans les écosystèmes par dépôt sec et humide, sur les sols et dans le réseau hydrique.

2. Stratégie de mesure à Atmo BFC

2.1. La station Montbéliard-Centre

2.1.1. Généralités

En considération de l'ensemble des enjeux liés aux concentrations de PUF dans l'air ambiant, Atmo BFC a débuté en mars 2022 la mesure de la concentration en nombre de particules (CNP) à la station « Montbéliard-Centre ». Cette station, située à Montbéliard (Doubs), dans le « Parking Lévy », est une station de type « urbain » et d'influence « fond ». Ces termes définissent une station « située en ville, hors de l'influence immédiate de la circulation ou de l'industrie, et représentative de l'air respiré par la majorité des habitants d'une agglomération ».

Figure 2 - Prise de vue de la station en contre-bas d'un talus à l'ouest et localisation de la station à Montbéliard (photo P. Campargue-Rodriguez, 2023. Plan IGN, 2022.)

2.1.2. Spécificités

La station Montbéliard-Centre fait partie des stations les plus équipées et complètes du réseau d'Atmo BFC. C'est une raison supplémentaire au choix d'y pérenniser la mesure de la concentration en nombre de particules.

On retrouve ainsi mesurés à cette station les concentrations en masse des polluants particulaires PM_{10}, $PM_{2.5}$ et PM_1, les oxydes d'azotes (NO_X, NO_2 et NO), l'ozone O_3, la concentration en carbone suie distinguant BCff (issu de combustibles fossiles, *Fossil Fuel* en anglais) et BCwb (issu de la combustion de biomasse, *Wood Burning* en anglais), la CNP[180nm-18µm] et la **CNP[7nm-1µm]**. C'est cette dernière CNP[7nm-1µm] qui permet d'approcher la mesure de la concentration en nombre des PUF.

À Montbéliard, les émissions de $PM_{2.5}$ proviennent en grande majorité du secteur résidentiel (50% de la masse totale en 2020), suivi du transport routier (25%) et de l'industrie manufacturière (20%). Bien que ces données concernent les $PM_{2.5}$, elles donnent un aperçu des principales sources d'émissions locales pouvant affecter dans des proportions différentes les CNP mesurées.

Par ailleurs, la station est implantée sur un parking à ciel ouvert d'une capacité d'environ 40 places de stationnement. Délimité par une rue de deux voies à sens unique et une rue simple à sens unique, la station n'est pas considérée de type « trafic ». Cependant le **démarrage et la circulation quotidienne de voitures sur le parking et dans son environnement** peuvent être une source significative de polluants.

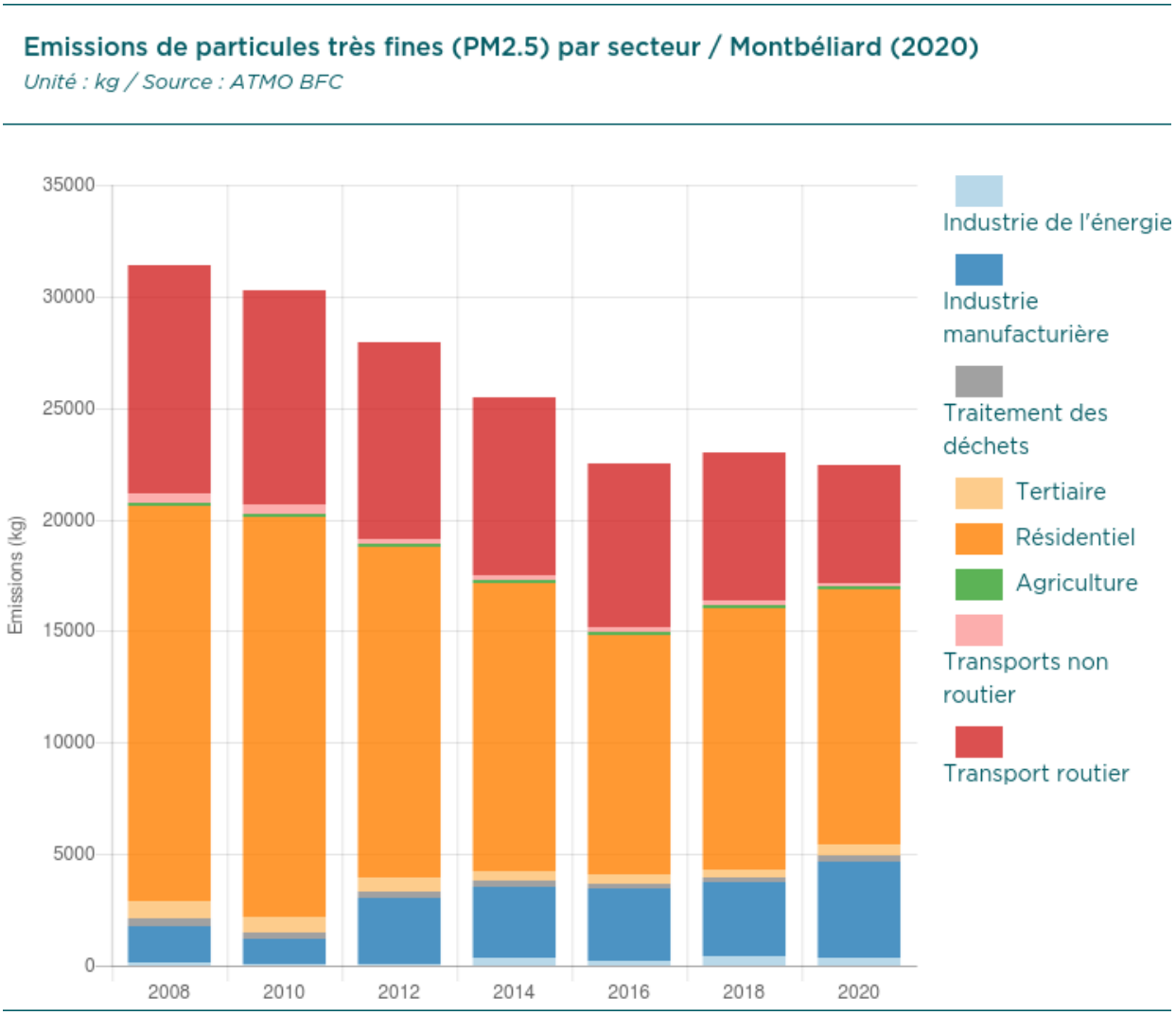

Figure 3 - Diagramme des émissions de particules fines à Montbéliard de 2008 à 2020 (OPTEER, 2023)

Le secteur industriel à Montbéliard est marqué par le site **industriel de Sochaux**, avec l'usine Stellantis spécialisée dans l'automobile. Elle se situe à environ 2 km à l'est-nord-est de la station.

2.2. Instrumentation

2.2.1. Fonctionnement de l'analyseur

Le compteur de particules qui permet la mesure de la concentration en nombre de particules est appelé CNC (Compteur à Noyaux de Condensation, ou CPC pour *Condensation Particle Counter* en anglais). Le CNC installé à la station Montbéliard-Centre est le modèle « **ENVI-CPC 100** ». Il est actuellement configuré de manière à quantifier les particules de diamètre aérodynamique d'une gamme de taille **de 7 nm à 1 µm**.

Son fonctionnement réside dans la pulvérisation et condensation de butanol dans l'échantillon d'air ambiant pour grossir suffisamment les particules afin de les compter par détection photoélectrique.

Au préalable, l'air échantillonné est séché par membrane Nafion™. Au sein du CNC, la pulvérisation a lieu dans une chambre de saturation chaude, qui est nécessairement sursaturée. Le butanol est ensuite condensé sur les particules dans une chambre de condensation froide, provoquant leur grossissement jusqu'à atteindre un diamètre d'environ 5 µm. Ce grossissement permet le comptage des particules par passage dans le faisceau d'un photodétecteur. En aval du CNC, un four catalytique (*Catalytic Stripper* en anglais) permet l'élimination des odeurs et des émissions de COV liées à l'utilisation de butanol.

Le CNC fonctionne par défaut en mode de comptage « unique », mais passe automatiquement au mode de comptage « photométrique » en cas de concentrations supérieures à 100 000 part/cm^3. L'incertitude de ce mode est plus importante que celle du mode unique.

Les mesures sont acquises toutes les 10 secondes et sont moyennées au pas de temps quart-horaire, avant d'être validées.

2.2.2. Période de mesure

L'ENVI-CPC 100, qu'on appellera « CPC » dans la suite du rapport, a été mis en fonctionnement à Montbéliard en mars 2022. **Cette étude se focalisera sur les données de 6 mois de mesure, du 01/12/2022 au 01/06/2023**. Sur cette période, 93% des mesures de concentration en nombre de particules du CPC sont disponibles et valides.

Les mesures antérieures au 01/12/2022 ne sont pas traitées dans ce rapport en raison d'incidents techniques et de paramètres d'humidité non conformes avec les préconisations du LCSQA, ayant conduit à l'invalidation d'un volume important de données.

Cette période couvre la saison hivernale et printanière, qui sont les saisons les plus problématiques en termes de pollution particulaire. En effet, la pollution particulaire y est plus importante, et les dépassements de valeurs limites en concentration des PM_{10} et $PM_{2.5}$ plus fréquents.

Les niveaux de concentration en nombre de particules mesurés par le CNC sur cette période de 6 mois ne sont pas représentatifs des niveaux annuels. Il est attendu que les niveaux obtenus pour la période d'hiver et de printemps soient supérieures aux moyennes annuelles, et largement supérieures aux moyennes estivales.

2.2.3. Distinction entre PUF et CNP

La concentration en nombre de PUF et la concentration en nombre de particules mesurée par un CNC sont **deux mesures distinctes mais régulièrement confondues**.

En effet, puisqu'un CNC mesure le nombre de particules de diamètre aérodynamique allant de 7 ou 10 nm à 1µm (PM_1), cela inclut des particules qui ne sont pas des PUF (dont la taille est inférieure à 100 nm ou 0,1 µm). Les PM_1 étant composées à plus de 80% de PUF en termes de nombre, le comportement de la CNP[7nm-1µm] est dans certains cas assimilé à celui des PUF.

Le terme de « CNP » sera préféré à celui de « PUF » dans ce rapport, l'appellation « CNP » se référant ici à la gamme de taille de 7 nm à 1µm, c'est-à-dire les particules les plus fines.

Toute autre gamme de taille sera explicitement indiquée (ex : CNP[180nm-18µm] mesurée par l'analyseur FIDAS à la station Montbéliard-Centre).

2.3. Contexte météorologique

Les données météorologiques ont été mesurées à Dorans (Territoire de Belfort), à une dizaine de kilomètres au nord de la station de Montbéliard-Centre, et ont été obtenues auprès de Météo France.

Durant la période de décembre 2022 à mai 2023, les températures moyennes mensuelles ont varié de 3,4°C en décembre à 15°C en mai. Ces températures sont en moyenne supérieures aux normales de saison d'1,2°C (calculées par rapport à la période de référence 1991-2020). Les différences sont plus marquées en janvier et février 2023, avec une température moyenne plus élevée de 1,8°C que la normale. Les précipitations ont diminué de 10,9 mm en moyenne par rapport aux normales de saison, avec des extrêmes de 60 mm en moins en février, et de 50 mm en plus en mars.

Par ces conditions plus douces, une pollution particulaire plus faible que la normale est attendue. Cependant, la forte diminution des précipitations certains mois peut provoquer l'accumulation de particules dans l'air ambiant, par inhibition de ce puit de particules.

3. Synthèse des résultats

Les premières mesures de la CNP à Montbéliard permettent de connaître les variations de concentration en nombre de particules fines en milieu urbain d'influence fond. L'analyse de la variabilité temporelle met en évidence les tendances générales des variations et souligne l'influence des conditions météorologiques saisonnières et des activités anthropiques. La comparaison des mesures avec les paramètres météorologiques et les autres polluants mesurés à la station permet d'évaluer les origines de la CNP. Enfin, une partie de l'analyse a été consacrée à la recherche exploratoire d'indicateurs dans le but d'utiliser les mesures de CNP pour caractériser la pollution particulaire.

3.1. Variabilité temporelle de la CNP

3.1.1. Profils mensuels et valeurs guides OMS

Sur la période de mesure, la CNP **moyenne** est de **7 454 part/cm³** (Figure 4, en rouge). Le **minimum journalier** est atteint le 08/05/2023 avec **2 220 part/cm³** et le **maximum journalier** est atteint le 20/12/2022 avec **26 235 part/cm³** (Figure 4, en bleu clair).

Le seuil de valeur guide de l'OMS définissant une concentration journalière supérieure à 10 000 part/cm³ comme une concentration « haute » est atteint pour 33 jours de la période de mesure (Figure 4, en bleu foncé). Ainsi, **18% des moyennes journalières sont des CNP « hautes »**. Sur ces 33 jours de concentration haute, la plupart sont survenus en hiver (79%), en particulier au cours du mois de décembre (30%).

Le seuil de valeur guide de l'OMS définissant une concentration journalière inférieure à 1 000 part/cm³ comme une concentration « basse » n'est jamais atteint.

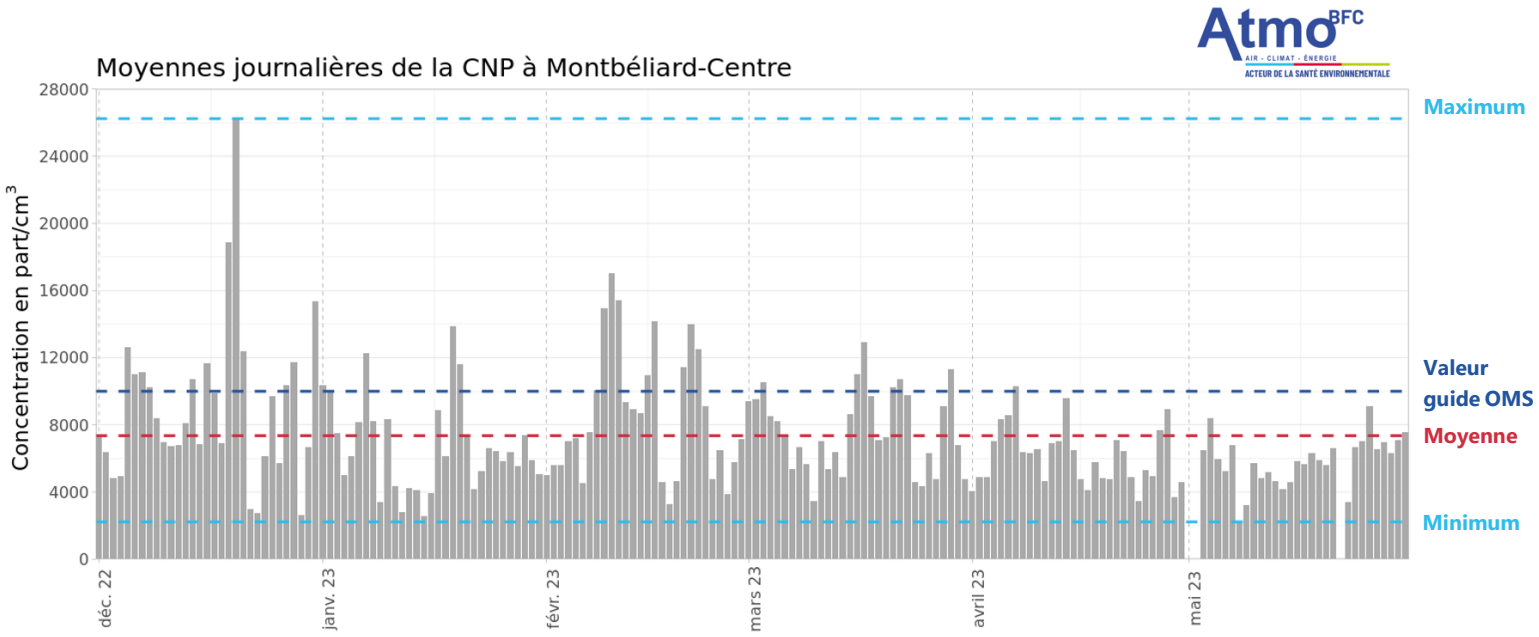

Figure 4 - Profil de la CNP au pas de temps journalier du 01/12/2022 au 31/05/2023 à Montbéliard-Centre

La concentration **minimale horaire** est atteinte le 09/01/2023 avec **622 part/cm^3**. La concentration **maximale horaire** est atteinte le 20/12/2022 avec **38 160 part/cm^3**.

Au pas de temps horaire, l'OMS définit une concentration horaire supérieure à 20 000 part/cm^3 comme une concentration « haute ». Ce seuil est atteint lors de 122 heures (Figure 5, en bleu foncé), soit au cours de **près de 3% des moyennes horaires**. 95% de ces concentrations horaires « hautes » ont lieu en hiver, dont plus de 50% en décembre 2022.

Cette répartition saisonnière témoigne d'une grande variabilité et sensibilité de la CNP aux conditions météorologiques.

Les deux profils de la période, aux pas de temps journalier et horaire, permettent de constater que les concentrations sont plus stables et faibles au printemps, et qu'elles sont plus hétérogènes et élevées en hiver. En effet, la concentration **moyenne** est de **8 128 part/cm^3 entre décembre 2022 et février 2023** contre **6 695 part/cm^3 entre mars et mai 2023**. L'accumulation des particules mesurés par le CPC semble être plus importante en période froide, de la même manière que pour les autres fractions de la pollution particulaire.

La variabilité importante durant la saison hivernale est particulièrement visible au pas de temps horaire (Figure 5), où de très fortes CNP alternent avec de très faibles CNP. C'est d'ailleurs en hiver que les extremums horaires sont mesurés, à 20 jours d'intervalle.

En janvier 2023, les CNP ont présenté des niveaux plus faibles que sur le reste de la période hivernale, particulièrement lors de la deuxième et de la quatrième semaine du mois. Cette baisse peut être imputée aux conditions météorologiques, avec des températures particulièrement douces et des régimes de vent plus élevés qu'en décembre 2022 et février 2023.

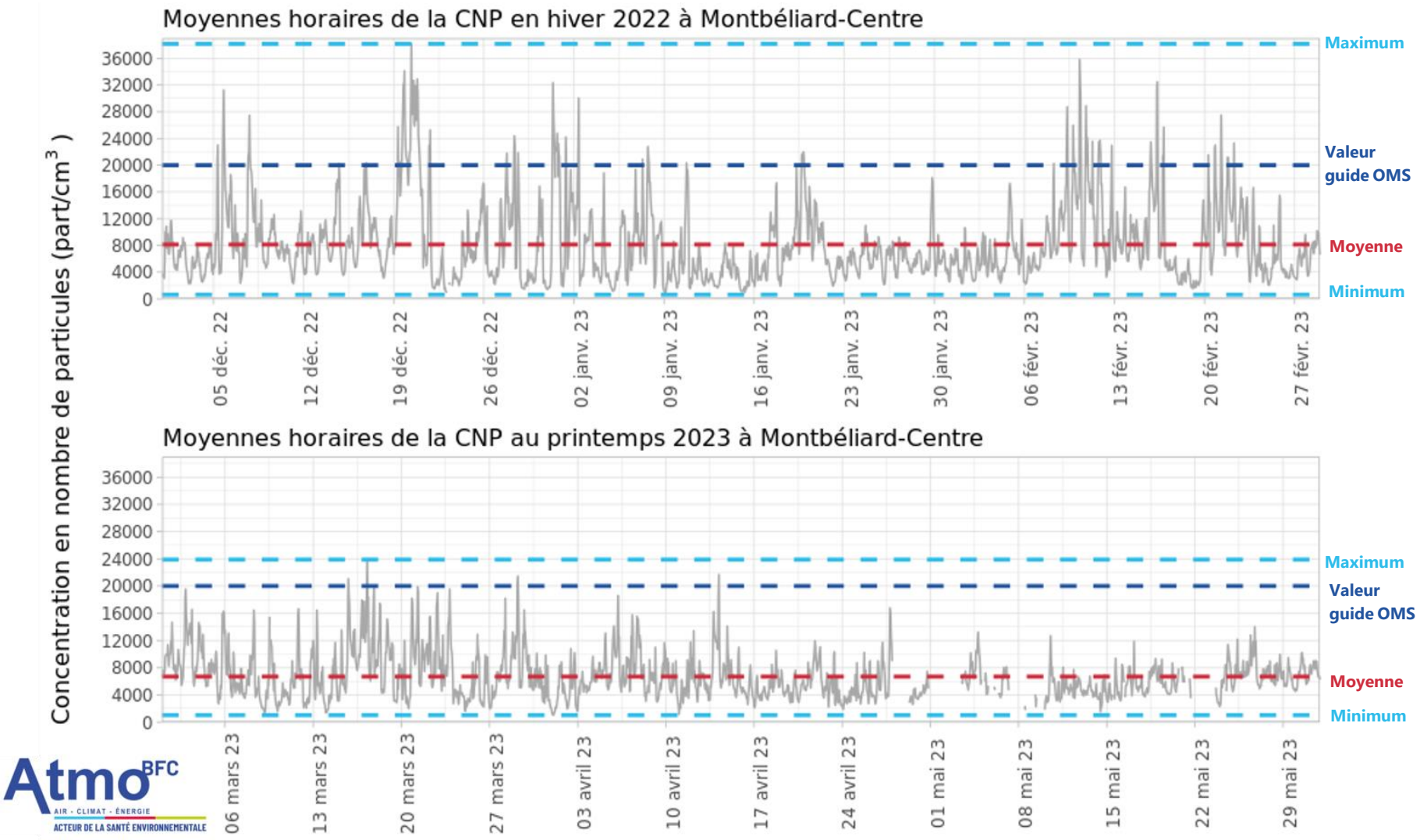

Figure 5 - Profil de la CNP au pas de temps horaire en hiver 2022/2023 et printemps 2023 à Montbéliard-Centre

	CNP part/cm³	CNP[180nm-18µm] part/cm³	PM_{10} µg/m³	$PM_{2.5}$ µg/m³	PM_1 µg/m³	BC_{ff} µg/m³	BC_{wb} µg/m³	NO µg/m³	NO_2 µg/m³	O_3 µg/m³
2022-12	**9186**	469	20.0	18.4	17.4	1.2	0.86	17.6	23.2	20.4
2023-01	**6710**	273	11.7	10.1	9.3	0.64	0.47	6.1	15.9	37.1
2023-02	**8566**	500	22.6	18.6	17.0	0.76	0.74	8.4	20.9	38.3
2023-03	**7685**	295	15.2	12.0	10.7	0.64	0.48	4.1	16.1	56.2
2023-04	**6052**	202	9.6	7.0	6.1	0.52	0.20	2.9	13.8	58.0
2023-05	**6169**	221	12.3	7.6	6.3	0.51	0.12	2.1	11.2	65.4

Tableau 1 - Moyennes mensuelles des polluants mesurées à la station Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

Le Tableau 1 ci-dessus présente les moyennes mensuelles de l'ensemble des polluants mesurés à la station Montbéliard-Centre. Il nous permet d'appuyer les constats visuels précédents, avec une CNP **moyenne mensuelle maximale de 9 186 part/cm³ en décembre 2022**, et une CNP **moyenne mensuelle minimale de 6 052 part/cm³ en avril 2023**.

Il met également en exergue la baisse du mois de janvier, avec une CNP moyenne mensuelle de 6 710 part/cm³. L'ensemble des polluants ont fait l'objet de niveaux plus faibles au cours du mois de janvier, à l'exception de l'ozone qui augmente à mesure que la durée du jour et de l'ensoleillement se rallonge. Cela permet de confirmer que la diminution du mois de janvier est due à des paramètres externes influant sur tous les polluants.

Tel que précisé dans la partie en 2.2.3, la CNP[7nm-1µm] est mesurée par le CPC et permet de se rapprocher de la concentration en nombre de PUF. En revanche, la CNP[180nm-18µm] est mesurée par un appareil FIDAS, et ne contient aucune PUF.

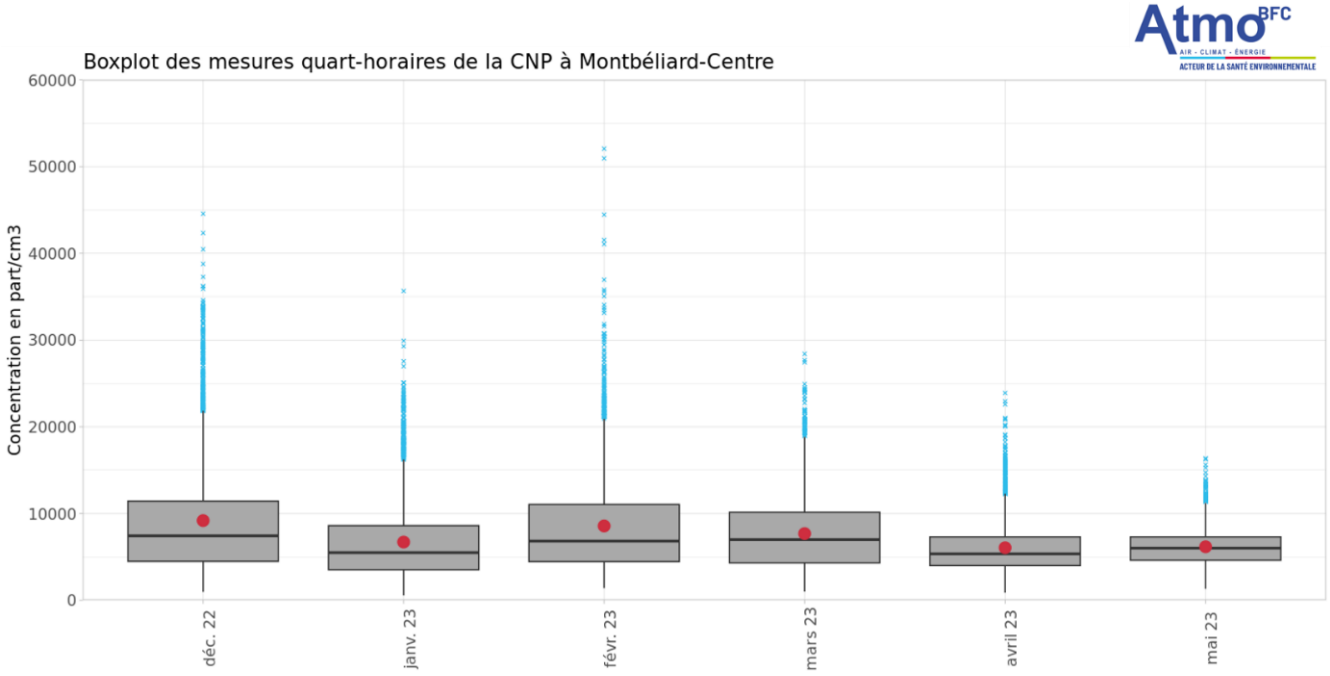

Figure 6 - Boîtes à moustaches mensuelles des mesures quart-horaires de la CNP à Montbéliard-Centre

Lecture des boîtes à moustache : cette figure permet d'obtenir pour chaque mois, au pas de temps quart-horaire, des informations sur la valeur minimale « non aberrante » (extrémité inférieure de la ligne verticale, contient les valeurs supérieures à -1,5*EI), la valeur maximale « non aberrante » (extrémité supérieure de la ligne verticale, contient les valeurs inférieures à 1,5*EI), le premier quartile (bord inférieur de la boîte), la médiane (ligne horizontale noire), le troisième quartile (bord supérieur de la boîte), la moyenne (point rouge) et les valeurs « extrêmes » (croix bleues, valeurs supérieures à 1,5*EI) dont la valeur maximale mesurée (croix bleue la plus élevée). EI ou Ecart Interquartile = Q3-Q1

La Figure 6 présente un résumé statistique des mesures de la CNP, au pas de temps quart-horaire. La CNP **quart-horaire maximale de 52 070 part/cm^3** est mesurée le 10/02/2023, et la CNP **quart-horaire minimale de 550 part/cm^3** est mesurée le 09/01/2023.

La moyenne mensuelle est presque systématiquement supérieure à la médiane. Cela signifie que la **distribution des valeurs est déséquilibrée**, avec des CNP très élevées augmentant la moyenne. Ce constat est confirmé par la présence de nombreuses « valeurs extrêmes supérieures » et l'absence de « valeurs extrêmes inférieures ». Le mois de mai fait exception, avec une médiane et une moyenne presque équivalentes, témoignant d'une répartition plus équilibrée entre CNP faibles et élevées.

Par ailleurs, le plus grand nombre de valeurs extrêmes et les écarts interquartiles plus importants en décembre 2022 et février 2023 rendent là aussi compte de la plus grande variabilité des valeurs en saison froide.

COMPORTEMENTS CLÉS

- CNP plus élevées en hiver qu'au printemps
- Grande variabilité et sensibilité de la CNP, principalement en hiver
- Diminution de la CNP en janvier 2023 en raison des conditions météorologiques
- CNP définies comme concentration « hautes » essentiellement en hiver

CHIFFRES CLÉS

- Sur l'ensemble de la période, le niveau moyen de CNP est d'environ 7 500 part/cm^3
- Le maximum journalier est d'environ 26 000 part/cm^3
- Le minimum journalier est d'environ 2 200 part/cm^3
- 34% des valeurs horaires sont inférieures à 5 000 part/cm^3
- 46% des valeurs horaires se situent environ entre 5 000 et 10 000 part/cm^3
- 17% des valeurs horaires se situent environ entre 10 000 et 20 000 part/cm^3
- 3% de valeurs horaires sont supérieures è 20 000 part/cm^3
- Le maximum mensuel est atteint en décembre avec environ 9 000 part/cm^3
- Le minimum mensuel est atteint en avril avec environ 6 000 part/cm^3

3.1.2. Profils hebdomadaires et journaliers

L'étude de la variabilité hebdomadaire et journalière de la CNP permet d'obtenir des informations sur les fluctuations liées aux activités anthropiques quotidiennes. Ces activités varient d'une saison à l'autre, et permettent de situer précisément dans le temps les origines préférentielles des particules.

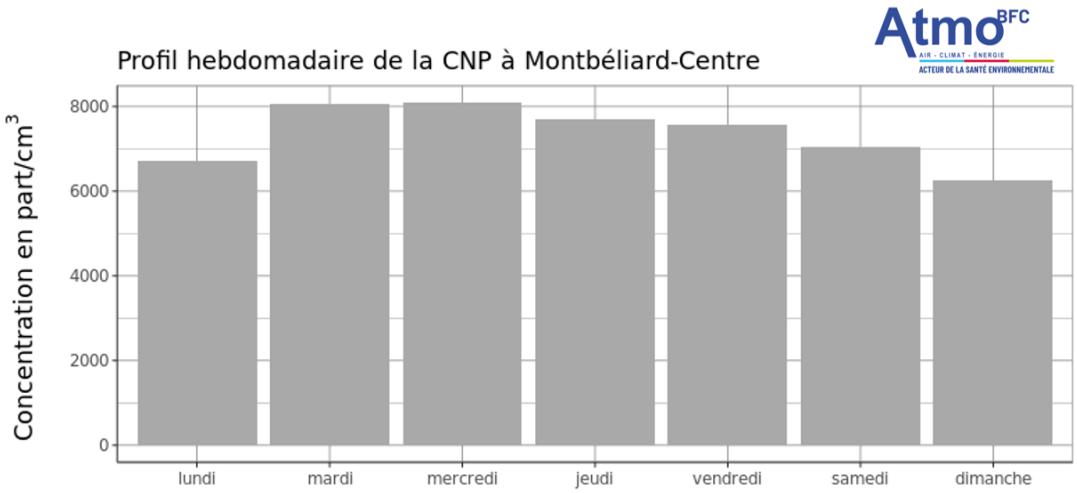

Figure 7 - Profil hebdomadaire moyen de la CNP journalière à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

Le profil hebdomadaire ci-dessus (Figure 7) met en évidence une CNP moyenne **maximale le mercredi de 8 096 part/cm³**, et une moyenne **minimale le dimanche de 6 273 part/cm³**.

Le profil hebdomadaire au pas de temps horaire (Figure 8) permet de visualiser un **profil journalier en « double-pic »** du lundi au samedi. Ce profil est typique des variations journalières d'une **pollution d'origine trafic**, chaque pic correspondant à l'augmentation du volume de la circulation au moment des **trajets aller et retour**, **du matin et du soir**, vers et depuis le lieu de travail.

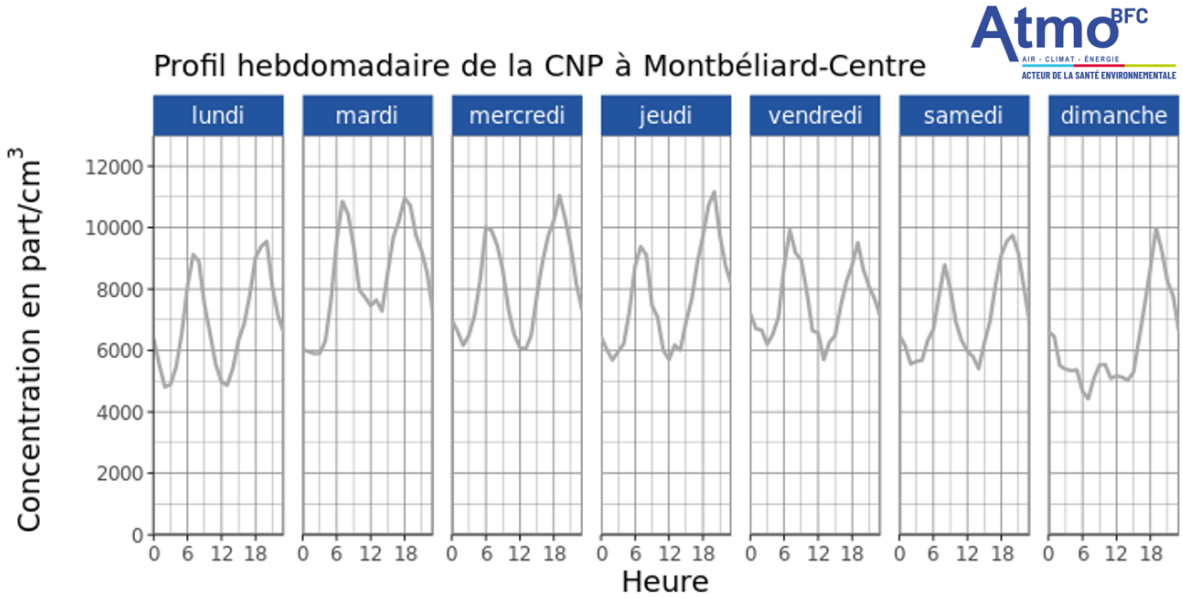

Figure 8 - Profil hebdomadaire moyen de la CNP horaire à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

Le dimanche n'observe logiquement pas de profil en « double-pic », au profit d'un seul pic unique en fin de journée. Ce dernier peut être expliqué par le retour des personnes ayant quitté la ville le week-end provoquant une hausse du trafic routier.

En moyenne, les **pics du matin** ont lieu **autour de 7h,** et les **pics du soir autour de 19h**, ce qui correspond bien aux heures d'activités et de déplacements courants. Du lundi au samedi, les pics du soir sont supérieurs aux pics du matin, de 100 à 2 000 part/cm^3. Le vendredi fait exception, avec un pic du soir inférieur au pic du matin de 500 part/cm^3.

Les profils journaliers hebdomadaires mettent en évidence des pics de CNP coïncidant avec les heures de circulation les plus importantes. Ces premiers éléments tendent à définir la CNP comme étant majoritairement influencée par le trafic.

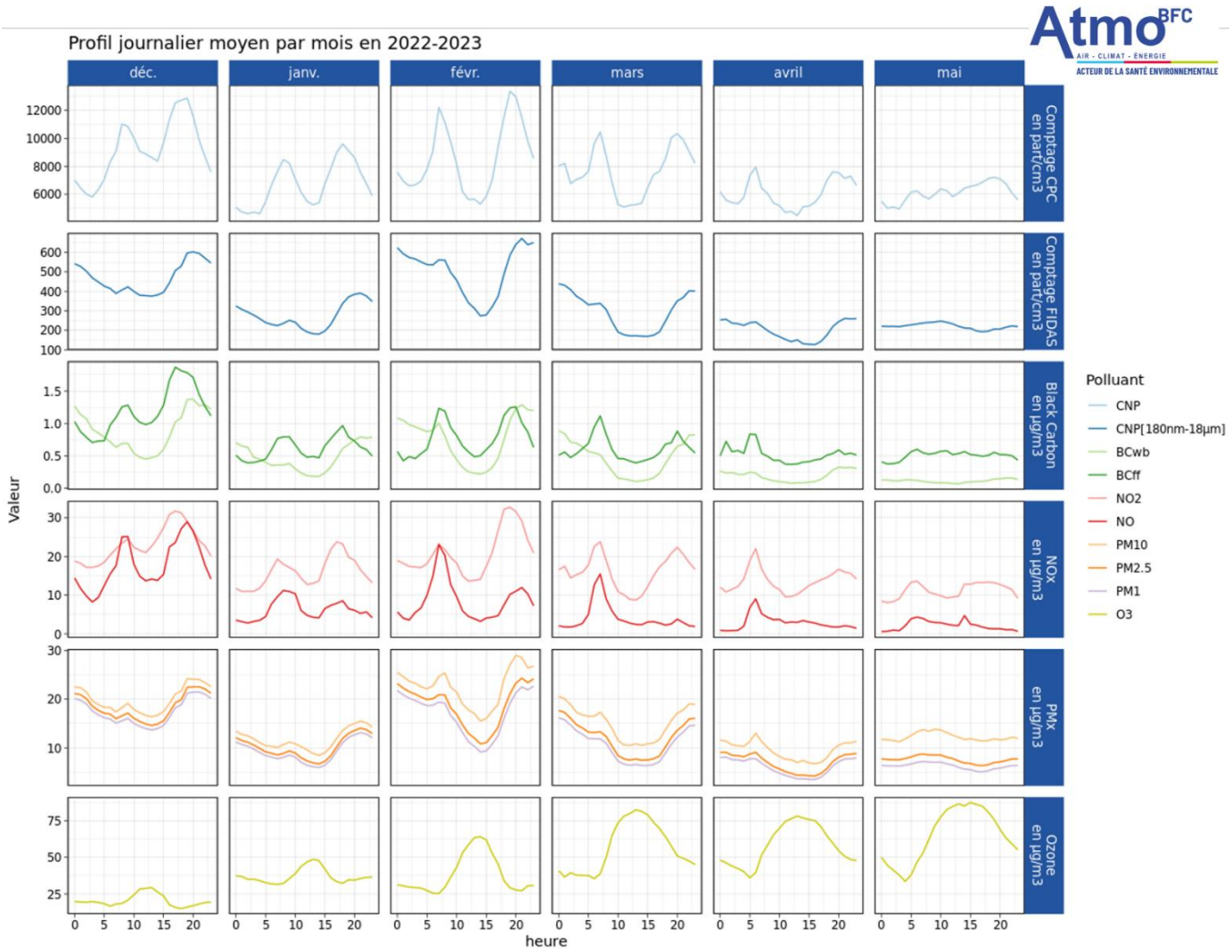

Figure 9 - Profil journalier moyen de la CNP pour chaque mois à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

La morphologie de ce profil journalier en « double-pic » varie au fil des mois. En effet, selon les conditions météorologiques et les activités anthropiques, l'amplitude des pics quotidiens est susceptible de changer.

La Figure 9 ci-dessus présente le profil journalier moyen par mois et par polluant. De façon générale, les « niveaux de pollution de fond » sont plus faibles au printemps qu'en hiver. D'autre part, la morphologie en « double-pic » est **plus nette en hiver,** avec une **amplitude journalière plus élevée**, d'environ **6 000 part/cm3** (exception faite pour le mois de janvier).

À contrario, **au printemps**, la morphologie en « double-pic » est **moins significative** avec une amplitude plus faible, d'environ **4 000 part/cm3**. Cette diminution de l'amplitude n'est pas spécifique aux particules de la CNP, et pourrait témoigner de conditions atmosphériques plus favorables à la dispersion des polluants.

Avec un profil en « double-pic » presque inexistant, le profil journalier du mois de mai est atypique. Cette anomalie se retrouve chez les autres polluants traceurs du trafic routier (NO_x et BC_{ff}), avec une légère exception pour le NO_2. Ce changement de profil est possiblement dû aux variations saisonnières de la météo et de la CLA, ainsi qu'un changement des modes de déplacements des usagers de la route.

Par ailleurs, les heures auxquelles ont lieu les pics quotidiens diffèrent selon les mois, avec une **amplitude horaire réduite en hiver et plus étalée au printemps**. En décembre, le pic matinal est à environ 8h et le pic du soir à environ 18h. En avril, le pic matinal est à environ 6h et le pic du soir à environ 20h. Cet écart d'amplitude pourrait être dû à un étalement des activités anthropiques en lien avec l'allongement des journées.

COMPORTEMENTS CLÉS

- CNP la plus élevée le mardi et le mercredi sur la période
- CNP la plus faible le dimanche sur la période
- Morphologie du profil journalier en « double-pic » en semaine sur la période
- Le dimanche, un pic unique en fin de journée sur la période
- En hiver, un profil en « double-pic » plus net

CHIFFRES CLÉS

- Pics horaire par jour atteignant en moyenne entre 9 000 et 11 000 part/cm^3 sur la période, avec de fortes différences entre les mois
- En hiver, rétrécissement de l'amplitude horaire des pics à 8h et 18h
- Au printemps, élargissement de l'amplitude horaire des pics à 6h et 20h

3.2. Origine de la pollution

3.2.1. Dynamique des masses d'air

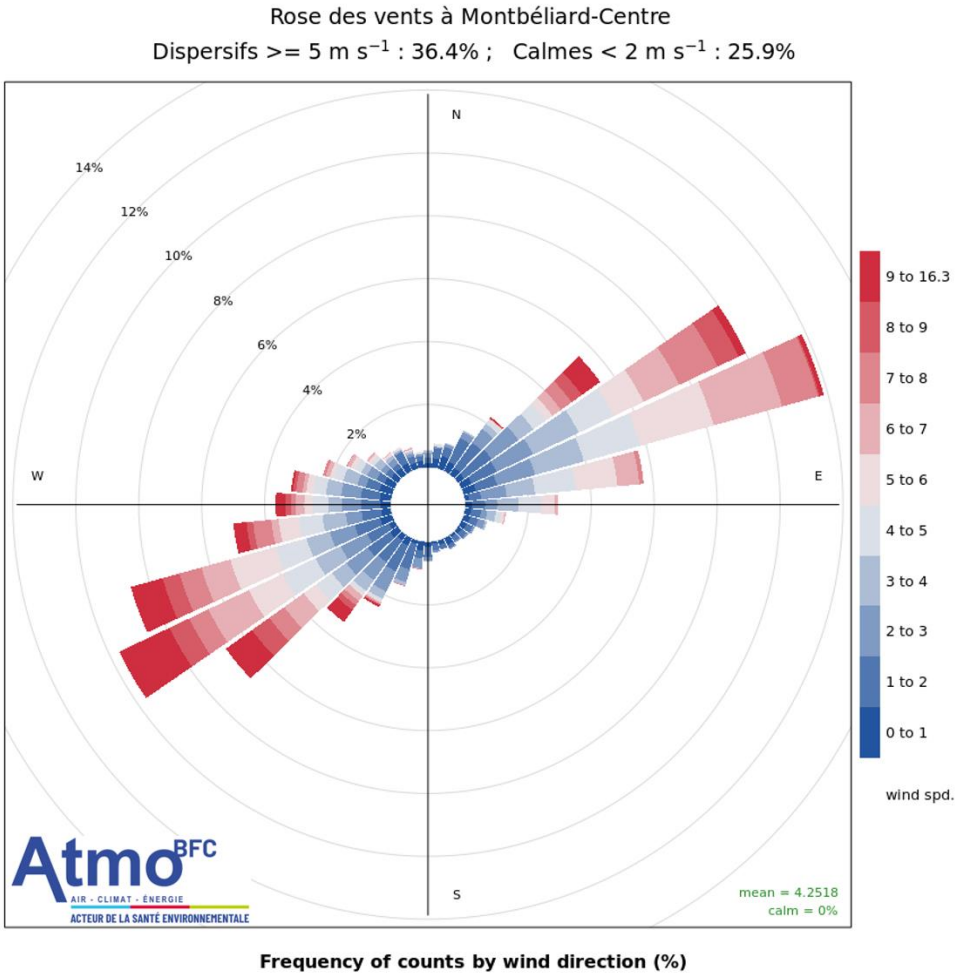

Figure 10 - Rose des vents à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

La rose des vents permet de visualiser le régime de vent moyen durant la période étudiée, en termes de fréquence (%), direction (°N) et vitesse (m/s). Les données météo sont issues du modèle PREVEST à l'emplacement de la station, selon le modèle WRF (version 4.0.3) en réanalyse.

On constate que **32%** des vents sont de **direction E-N-E**, parmi lesquels on retrouve une moitié de vents dispersifs, et qu'environ **30%** des vents sont de **direction O-S-O**, et de type dispersif 60 % du temps. Ainsi, 62% des vents circulent sur un axe quasiment latitudinal. Le reste des vents est essentiellement calme et est réparti sur l'ensemble des autres directions, avec de très faibles fréquences.

Un vent est dit **dispersif** et efficace en dispersion et coagulation de particules à partir de 5 m/s (Morawska and al., 2008) et est dit **calme** lors d'une vitesse inférieure à 2 m/s (Météo France).

Avec une vitesse moyenne de 4,3 m/s, 36% de vents ont été dispersifs et 26% des vents ont été calmes entre décembre 2022 et mai 2023.

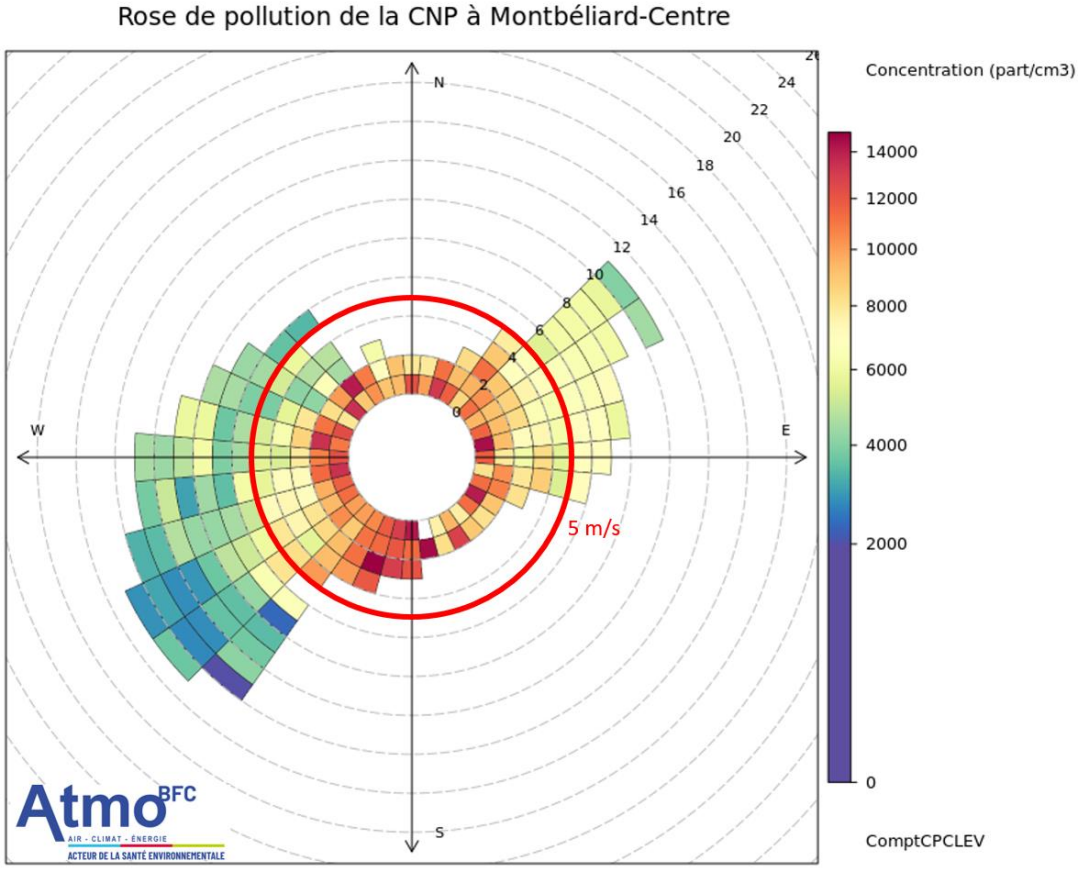

Figure 11 - Rose de pollution de la CNP à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

La rose de pollution ci-dessus permet de connaître la CNP moyenne mesurée selon la vitesse (m/s) et la provenance (°N) des vents à la station, de décembre 2022 à mai 2023. Cette rose de pollution est paramétrée pour afficher les cases présentant un minimum de 4 récurrences, pour une vitesse et une provenance donnée.

Il apparait que, à Montbéliard-Centre, les plus **hautes concentrations** (cases rouges sur la Figure 11) sont mesurées **en présence de vents calmes** dont la vitesse est inférieure à 2 m/s, et de toutes directions. À l'inverse, les **concentrations les plus faibles** (cases bleues) sont mesurées **lors de régimes de vents plus forts**, particulièrement de provenance O-S-O. Cette configuration de rose de pollution est caractéristique de la présence de sources d'émissions locales, plutôt que de poussières importées sur de longues distances.

Il convient de souligner que des concentrations « moyennes » (cases jaunes), proches de 7 000 part/cm^3, ont été mesurées en présence de vents dispersifs dont la vitesse est supérieure à 5 m/s, spécifiquement pour des vents provenant de l'E-N-E.

Les sources émettrices de particules les plus fines semblent être en grande majorité d'origines locales. Les concentrations modérément élevées lors de vents dispersifs de provenance E-N-E témoignent de la participation de sources plus éloignées.

3.2.2. Comparaison inter-polluants

Le Tableau 2 présente les résultats d'une matrice de corrélation entre la CNP et l'ensemble des polluants mesurés à la station de Montbéliard, de décembre 2022 à mai 2023, au pas de temps quart-horaire.

Un coefficient de corrélation « r » proche de 1 est significatif d'une similitude des variations de deux polluants. À l'inverse, lorsqu'il est proche de 0, la corrélation est nulle et les variations sont indépendantes. Un coefficient négatif et proche de -1 témoigne d'une anti-corrélation.

	CORRÉLATION GÉNÉRALE ENTRE LA CNP QUART-HORAIRE ET LES POLLUANTS								
Coefficient r	BC_{ff}	BC_{wb}	NO_2	NO	CNP[180nm-18µm]	PM_{10}	$PM_{2.5}$	PM_1	O_3
CNP	**0.76**	0.75	0.74	0.74	0.64	0.61	0.59	0.58	-0.50

Tableau 2 – Corrélation entre la CNP et les polluants mesurés à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

On peut constater que la CNP présente une **meilleure corrélation avec les NO_X et les carbones suies**, avec lesquels elle suit des variations similaires, tout particulièrement avec le BC_{ff}. Les **BC_{ff}** et les **NO_X** étant des traceurs du **trafic routier**, cette observation vient appuyer le diagnostic d'une forte contribution du trafic dans les émissions de PUF. Le **BC_{wb}**, traceur du **chauffage au bois** et autres combustions de biomasse, montre aussi un niveau de corrélation du même ordre de grandeur.

La corrélation est un peu moins bonne avec les autres polluants particulaires, en termes de concentration en nombre ou de concentration en masse. Enfin, l'ozone est le seul polluant présentant un r négatif avec la CNP.

En s'intéressant uniquement aux épisodes de PIR (Procédure d'Information et de Recommandation) PM10 et de CNP horaire « haute », les corrélations sont différentes des corrélations générales. Les résultats sur ces périodes spécifiques sont détaillés ci-dessous.

Entre décembre 2022 et mai 2023, 4 journées ont fait l'objet d'une **PIR**, synonyme du dépassement du seuil d'information et de recommandation des PM10 fixé à 50 µg/m^3 en moyenne journalière. Au cours de ces 4 journées, les corrélations ont été meilleures entre la CNP et le NO, la CNP[180nm-18µm] et les carbone suies (r>0,7). Elles ont en revanche été moins bonnes entre la CNP et le NO_2 (r=0,59), les PM2,5 et PM10 (r<0,5). Dans ce cas de figure

en particulier, il apparait que la prise en compte des PM_{10} dans la réglementation ne permet pas de prendre efficacement en considération le comportement de la fraction la plus fine de la pollution particulaire.

En **période de CNP « haute »,** la corrélation entre la CNP et le NO est similaire à celle de la matrice de corrélation générale (r=0,57). L'ensemble des autres corrélations observe de moins bonnes corrélations, particulièrement pour le NO_2 (r=0,03). Ces corrélations faibles et surprenantes pourraient être dues à un échantillon de données trop petit, ou à un comportement singulier des particules les plus fines en CNP haute.

La Figure 12 présente les variations du coefficient de corrélation entre la CNP et chaque polluant au fil des mois. A l'exception de l'ozone, les corrélations entre la CNP et les autres polluants ont été **maximales en hiver**, révélant ainsi le rôle déterminant des conditions météorologiques en cette saison. Notons par ailleurs que la baisse des concentrations du mois de janvier évoquée précédemment coïncide avec une baisse de la corrélation pour la presque totalité des polluants.

A l'inverse, les mois d'avril et de mai présentent des corrélations différentes de celles relevées en période hivernale, avec un coefficient de 0.21 pour le NO et de 0.29 pour l'ozone qui était jusqu'à présent négatif. Aussi, une forte baisse du coefficient du BC_{wb}, traceur du chauffage au bois, intervient à partir du mois de mai.

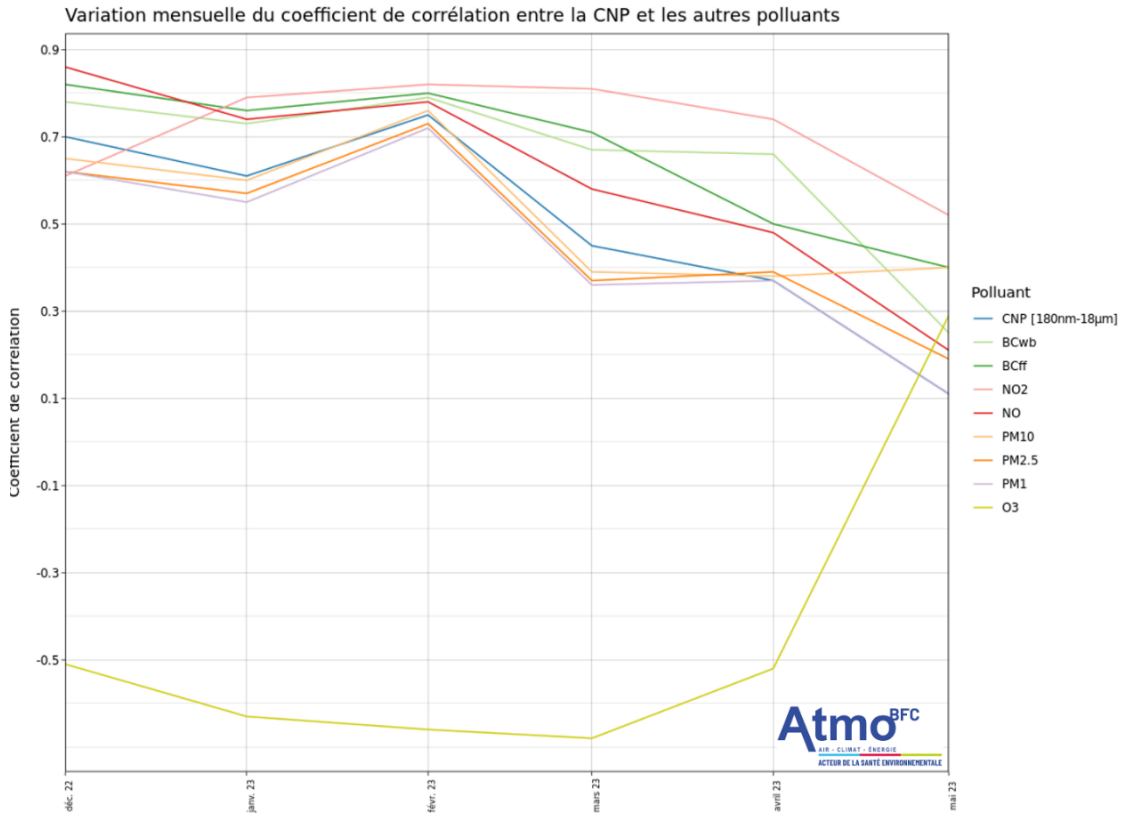

Figure 12 - Coefficient de corrélation entre la CNP et les polluants mesurés à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

COMPORTEMENTS CLÉS

- CNP d'origine majoritairement locale, en particulier en période de PIR
- Contribution modérée d'émissions de PUF à l'Est de la station
- En hiver, CNP d'origine mixte avec de fortes corrélations avec les carbone suies et oxydes d'azote
- Au printemps, CNP majoritairement issue du trafic routier

3.3. La CNP comme outil de caractérisation de la pollution particulaire

Le recours à l'indicateur CNP/PM_{10} permet de situer les niveaux de CNP par rapport à ceux des autres PM. Cet indicateur a un objectif exploratoire et permettra d'apporter des indications sur la spécificité du comportement des CNP par rapport aux PM10, prises en compte dans la réglementation.

L'indicateur **CNP/PM_{10}** (en part.cm^{-3}/µg.m^{-3} soit des 10^6part/µg) quantifie la contribution des particules les plus fines à la pollution particulaire (PM_{10}). Il permet de donner une information sur la **granulométrie de la pollution particulaire**, et donc sur sa **nocivité**.

<u>Interprétation de l'indicateur</u> : cet indicateur ne compare pas des paramètres de même unité de mesure. C'est donc moins la valeur de l'indicateur qui est ici intéressante que sa variation dans le temps. Trois configurations peuvent être relevées :

Indicateur stable dans le temps : la CNP et la concentration des PM10 évoluent de façon proportionnelle
Indicateur en diminution : la CNP diminue de façon plus conséquente que la concentration des PM10, ou la concentration des PM10 augmente plus fortement que la CNP
Indicateur en augmentation : la CNP augmente de façon plus conséquente que la concentration des PM10, ou la concentration des PM10 diminue plus fortement que la CNP

Ainsi, une hausse de l'indicateur traduit l'augmentation de la proportion des particules les plus petites sur l'ensemble des PM.

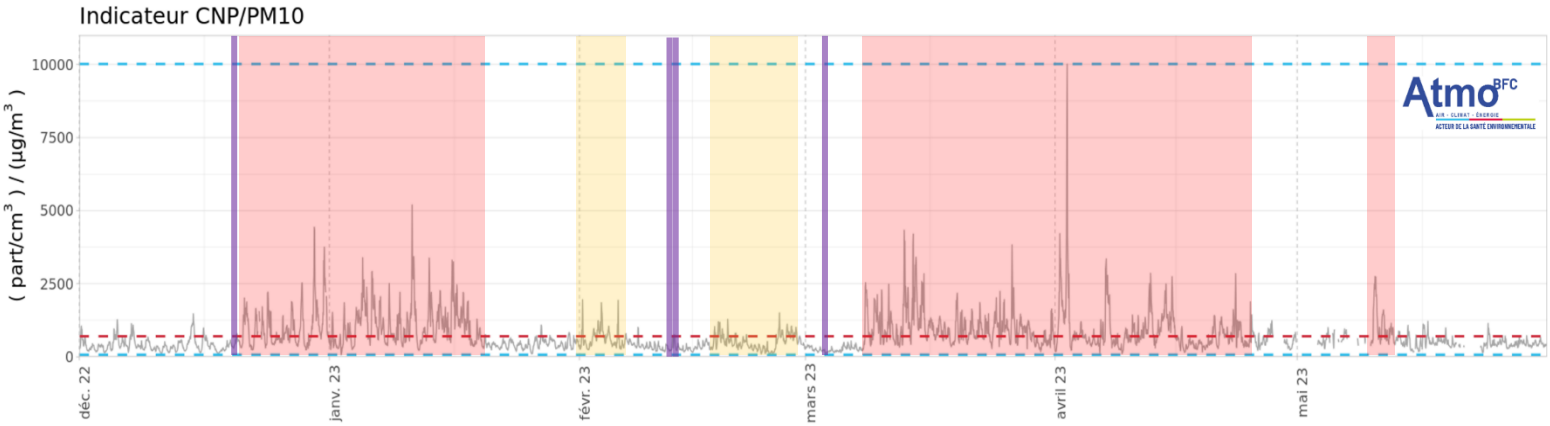

Figure 13 - Variation de l'indicateur CNP/PM10 à Montbéliard-centre de décembre 2022 à mai 2023

De décembre 2022 à mai 2023, les variations notables de l'indicateur correspondent uniquement à des augmentations par rapport à sa moyenne. Aucune diminution marquée de l'indicateur au cours du temps n'apparait.

Une alternance est observée entre des périodes d'indicateur relativement stable et des périodes d'indicateur plus élevé (en orange sur la Figure 13) ou très élevé (en rouge). Par ailleurs, les 4 journées affectées par une PIR (en violet) ont uniquement lieu en période d'indicateurs faibles. Ainsi, **les PIR n'ont pas été déclenchées lors de sur-représentation des particules les plus fines et les plus nocives**.

La variation seule d'un indicateur ne permet pas de définir quel polluant a un comportement indépendant de l'autre. Le coefficient de corrélation entre l'indicateur et les concentrations en PM_{10} s'élève à -0,47. Il apparait donc que les augmentations des indicateurs sont davantage provoquées par une diminution des concentrations en PM_{10} que par une augmentation de la CNP qui reste stable et indépendante (r=0,12). Cependant cette corrélation reste de faible qualité, laissant supposer des comportements relativement aléatoires.

Un deuxième indicateur, CNP[7nm-1µm]/CNP[180nm-18µm], a été testé. Les tailles des particules mesurées de la CNP[180nm-18µm] et des PM_{10} étant du même ordre de grandeur, les résultats obtenus pour les deux indicateurs sont très similaires.

La rose de pollution ci-dessous permet d'évaluer l'impact de la provenance (°N) et de la vitesse (m/s) des masses d'air sur l'indicateur CNP/PM_{10}. Elle utilise les mêmes paramètres de calculs et données de météo que la rose de pollution précédente (Figure 11).

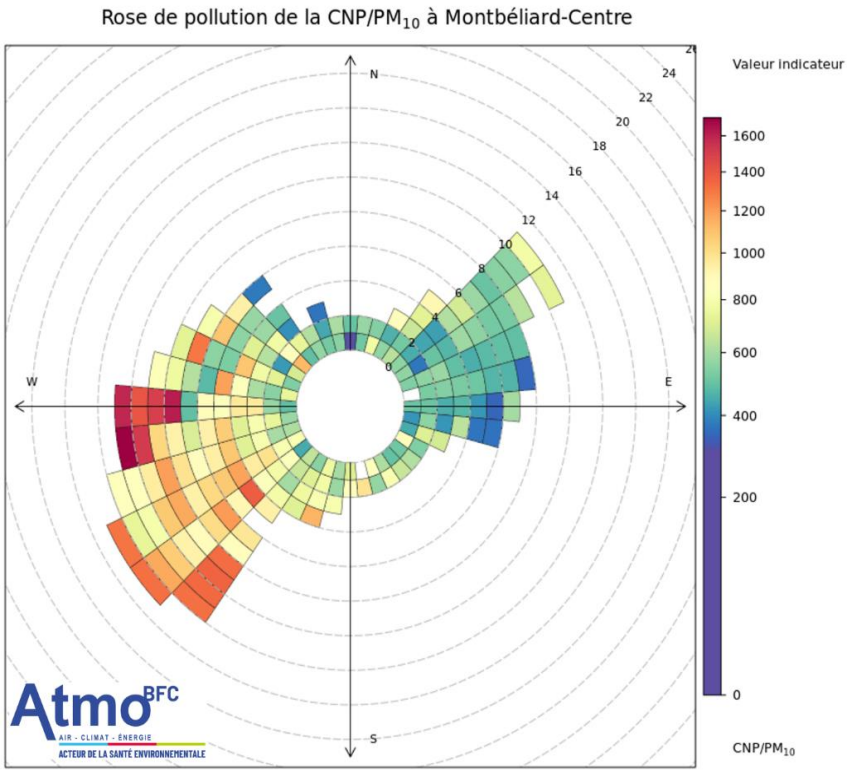

Figure 14 - Rose de pollution de l'indicateur CNP/PM_{10} à Montbéliard-Centre de décembre 2022 à mai 2023

Cette figure met en évidence des indicateurs supérieurs – et donc **une plus forte implication des PUF parmi les PM10** - en présence de vents d'ouest et de sud-ouest, particulièrement pour des vitesses supérieures à 4 m/s. Pour un niveau donné de concentrations en PM_{10}, des vents d'ouest auront donc tendance à apporter des PUF en plus grandes quantités sur Montbéliard.

COMPORTEMENTS CLÉS

- Écarts entre la CNP et les PM supérieurs en janvier, mars et avril
- Variations des indicateurs significatives uniquement en augmentation
- Contibution des PUF plus faible par rapport à la moyenne lors des 4 épisodes de PIR
- Plus forte contribution des PUF parmi les PM10 sous l'influence de vent d'ouest

Conclusion

Un ENVI-CPC100 permettant de compter les particules très fines de 7 nm à 1 µm a été installé à la station Montbéliard-Centre en mars 2022. Le comptage réalisé par l'analyseur de décembre 2022 à mai 2023 a été étudié afin de caractériser la CNP en période hivernale et printanière.

Les premiers résultats mettent en lumière une CNP moyenne de 7 500 part/cm^3, typique des milieux de fond urbains, avec une variation journalière fortement influencée par le trafic routier. Ces particules très fines sont principalement issues des phénomènes de nucléation survenant lors du refroidissement des gaz émis au niveau des pots d'échappement des véhicules thermiques, provoquant des pics de CNP aux heures de pointe.

Les variations saisonnières de la CNP ont été marquées, en lien avec la température, l'ensoleillement et l'épaisseur de la CLA. De façon similaire aux autres fractions particulaires, les niveaux de CNP sont plus élevés en hiver, lorsque la température est fraîche et la couche limite atmosphérique fine.

Les particules les plus fines à Montbéliard-Centre sont principalement d'origine locale avec des niveaux plus élevés lors de régimes de vents faibles, et majoritairement corrélées aux NO_x et BC, traceurs du trafic routier et de la combustion du chauffage résidentiel.

Au cours de cette période, les valeurs guides OMS d'appellation « CNP haute » ont été atteint sur 3% des données horaires (CNP>20 000 part/cm^3) et 18% des données journalières (CNP>10 000 part/cm^3).

L'indicateur CNP/PM_{10} (part/µg.10^6), créé dans un objectif exploratoire, met en lumière d'importantes variations de la contribution des particules les plus fines sur l'ensemble de la pollution particulaire. Les PUF ont en particulier été sous-représentées en période de PIR et sur-représentées sous l'influence de vents d'ouest dispersifs.

Cette exploitation prospective a permis d'apporter des premiers éléments d'interprétation des mesures de l'ENVI-CPC100. L'installation d'un deuxième CNC à la station urbaine d'influence trafic Ardennes de Dijon est prévue au cours du dernier trimestre 2023 et permettra de comparer les niveaux et dynamiques de la CNP entre les deux stations. A plus long terme, l'acquisition d'un granulomètre est envisagée par Atmo BFC.

Références

ANSES, 2018. Polluants « émergents » dans l'air ambiant. Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance de la qualité de l'air. Rapport d'expertise collective, édition scientifique. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail. 278p.

ANSES, 2023. Valeurs toxicologiques de référence : Les particules de l'air ambiant extérieur. Avis de l'ANSES. Rapport d'expertise collective. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail. 310p.

ATMO AURA, 2020. Observatoire des particules ultra fines (PUF) en Auvergne-Rhône-Alpes.

ATMO GRAND-EST, 2021. Rapport bibliographique sur les particules ultrafines (PUF).

BUSECK P. R. and ADACHI K., 2008. Nanoparticles in the atmosphere. *Elements, 4 (6)*. Pages 389-394.

CNESST, 2023. Diamètre aérodynamique. Répertoire Toxicologique. Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

DALL'OSTO M., THORPE A., BEDDOWS D. C. S. and al., 2011. Remarkable dynamics of nanoparticles in the urban atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics 11 (13)*. Pages 6623-6637.

GARREC J.-P., 2019. Quel est l'impact des polluants de l'air sur la végétation ? Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950]. http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=4956

KULMALA M. and KERMINEN V.-M., 2008. On the formation and growth of nanoparticles in the atmosphere. *Atmospheric Research 90 (2-4)*. Pages 132-150.

KUMAR P., ROBINS A., VARDOULAKIS S. and al., 2010. A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls. *Atmospheric Environment 44 (39)*. Pages 5035-5052.

LCSQA, 2014. Note technique sur les perspectives de travail du GT « PUF » à partir de 2015. Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air. 6p.

MORAWSKA L., THOMAS S., BOFINGER N. and al., 1998. Comprehensive characterization of aerosols in a subtropical urban atmosphere : particle size distribution and correlation with gaseous pollutants. *Atmospheric Environment 32 (14)*. Pages 2467-2478.

MORAWSKA L., RISTOVSKI Z., JAYARATNE E. R., and al., 2008. Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions : Characteristics, ambient processing and implications on human exposure. *Atmospheric Environment 42 (35)*. Pages 8113-8138. DOI : https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.050

OMS (WHO), 2013. Review of evidenceon health aspects of air pollution – REVIHAAP. First results. Regional Office for Europe. Organisation Mondiale de la Santé. 33p.

OMS (WHO), 2021. Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air. Résumé d'orientation. Organisation Mondiale de la Santé. 16p.

SARTELET K., 2009. Environnement atmosphérique et qualité de l'air : Particules atmosphériques. Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, Laboratoire Commun École des Ponts ParisTech, EDF R&D. 92p.

SEIGNEUR C., 2013. La pollution photochimique : Les particules. Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, Laboratoire Commun École des Ponts ParisTech, EDF R&D. 19p.

SHI J. P., EVANS D. E., KHAN A. A. and al. 2001. Sources and concentration of nanoparticles (<10 nm) in the urban atmosphere. *Atmospheric Environment 35 (7)*. Pages 1193-1202.

ZHANG R., KHALIZOV A., WANG L. and al., 2012. Nucleation and growth of nanoparticles in the atmosphere. *Chemical Reviews 112 (3)*. Pages 1957-2011

Glossaire

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

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

BC_{FF} : Black Carbon Fossil Fuel

BC_{WB} : Black Carbon Wood Burning

CLA : Couche Limite Atmosphérique

CNC : Compteur de Noyaux de Condensation

CNP : Concentration en Nombre de Particules (part/cm^3)

CPC : Condensation Particle Counter

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

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PIR : Procédure d'Information et de Recommandation

PM_X : Particular Matter, avec x comme le diamètre aérodynamique des particules

PNC : Particle Number Concentration

PUF : Particules Ultrafines ($PM_{0.1}$)

SIR : Seuil de Recommandation et d'Information

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

WHO : World Health Organization

Atmo BFC
AIR - CLIMAT - ÉNERGIE
ACTEUR DE LA SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

RETROUVEZ TOUTES NOS **PUBLICATIONS** SUR :

www.atmo-bfc.org

Atmo Bourgogne-Franche-Comté
37 rue Battant, 25000 Besançon
Tél. : 03 81 25 06 60
Fax : 03 81 25 06 61
contact@atmo-bfc.org
www.atmo-bfc.org