



Campagne de mesure exploratoire des particules ultrafines sur la plateforme aéroportuaire Bâle-Mulhouse

CONDITIONS DE DIFFUSION

Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous :

- Les données produites par ATMO Grand Est sont accessibles à tous sous licence libre «**ODbL v1.0**».
- Sur demande, ATMO Grand Est met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur et les guides méthodologiques nationaux.
- ATMO Grand Est peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.
- Rapport non rediffusé en cas de modification ultérieure des données.

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Rédaction : *Mélodie Chatain, Ingénieure qualité de l'air*
Relecture : *Emmanuel Jantzem, Responsable unité Enjeux Emergents*
Approbation : *Emmanuelle Drab-Sommesous, Responsable du pôle Accompagnement et Développement*

Référence du modèle de rapport : COM-FE-001_8

Référence du projet : 00751

Référence du rapport : ENJEM-EN-069_1

Date de publication : 03/01/2023

ATMO Grand Est

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73

Mail : contact@atmo-grandest.eu

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	3
1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....	4
2. CONDITIONS DE REALISATION DE LA CAMPAGNE DE MESURE	5
2.1. POLLUANTS SUIVIS	5
2.2. METHODOLOGIE DE MESURES EN AIR AMBIANT	5
2.3. ZONE D'ETUDE ET IMPLANTATIONS DES SITES DE MESURE.....	7
2.4. PLANNING DE LA CAMPAGNE DE MESURE	7
3. RESULTATS ET ANALYSES	9
3.1. QUALITE DES MESURES ET LIMITES DE LA CAMPAGNE	9
3.1.1. Comparaison avec l'analyseur de référence (CPC).....	9
3.1.2. Comparaison intra-technique : avant et après campagne	10
3.2. CAMPAGNE DE MESURE.....	13
3.2.1. Paramètres météorologiques.....	13
3.2.2. Moyennes sur la campagne	15
3.2.3. Comparaison à des données de référence	19
3.2.4. Variations temporelles des mesures.....	21
3.2.5. Etude des profils journaliers.....	25
3.2.6. Influence du vent	26
3.3. LIMITES DE LA CAMPAGNE.....	29
CONCLUSION	30

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats de la première campagne exploratoire de mesure des particules ultrafines (PUF) sur la plateforme aéroportuaire de Bâle-Mulhouse. Cette campagne s'est déroulée sur la période mi-juin/mi-juillet 2022 sur une durée d'un mois à partir de mesures du capteur Partector 2. 11 points de mesure ont été déterminés pour étudier la variabilité spatiale des concentrations sur et autour de la plateforme aéroportuaire. Pour assurer la qualité des données fournies par les systèmes capteurs, des tests et intercomparaisons ont été mis en œuvre avant et après la campagne de mesure. Les résultats de ces contrôles qualité ont confirmé la cohérence et la reproductibilité des mesures de la concentration en nombre et du diamètre moyen.

Une exploitation conjointe des mesures PUF, des paramètres météorologiques et des données de trafic aérien a été réalisée pour étudier les résultats de la campagne de mesure :

- Les sites de mesure situés sur la plateforme aéroportuaire sont associés à des niveaux plus élevés que ceux des sites environnants en termes de nombre de particules, excepté le point n°2. Une variabilité a été observée sur les différentes zones de l'aéroport en lien avec les conditions météorologiques et les activités au sol avec un impact plus important des moteurs des avions.
- Les sites de mesure en zone urbaine présentent des concentrations du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur d'autres agglomérations de la région (Metz et Strasbourg), cependant l'étude des maxima et des variations journalières a mis en évidence un impact local ponctuel dépendant des périodes et de l'influence des vents. Pour l'ensemble des sites, les concentrations en nombre les plus élevées sont associées à des vents venant de l'aéroport.
- En raison du principe de mesure de l'appareil, l'étude n'a pas permis de mettre clairement en évidence de prédominance de la gamme de diamètres de particules (10-20 nm), caractéristiques des moteurs d'avions.

1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

L'EuroAirport présente une activité soumise à la réalisation de campagnes de mesure de la qualité de l'air sur et autour de leur plateforme. En ce sens, ATMO Grand Est et l'EuroAirport ont mis en place plusieurs campagnes de mesures depuis 2005 permettant de suivre les polluants réglementés et des campagnes spécifiques permettant de répondre à divers objectifs. La dernière étude s'est déroulée en deux campagnes (une phase estivale en juin/juillet 2019 et une phase hivernale en janvier/février 2020) et le rapport est disponible sur le site internet d'ATMO Grand Est.

Les prescriptions du 6 octobre 2020[1] préconisent la mesure des polluants réglementés mais elles invitent également les exploitants aéroportuaires « à mener des études exploratoires relatives aux particules ultrafines (PUF) ». En ce sens, dès fin 2020, l'EuroAirport a de nouveau sollicité ATMO Grand Est pour la réalisation de la première campagne de mesure exploratoire des particules ultrafines sur et autour de leur plateforme aéroportuaire. Cette campagne de mesure, adaptée aux secteurs émissifs et basée sur le suivi de substances émergentes d'intérêt, s'inscrit pleinement dans le cadre du Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air 2017-2021 porté par ATMO Grand Est, à travers l'action 3 « Mieux connaître et hiérarchiser les sources de pollution » et l'action 20 « Accompagner les partenaires sur l'évaluation des thématiques émergentes déjà identifiées ».

De plus, cette campagne de mesure s'intègre à l'observatoire des particules ultrafines en cours de développement sur la région grâce à l'expertise et l'intégration de nouveaux moyens de mesure sur le réseau portées par ATMO Grand Est depuis 2019. Les PUF sont notamment intégrées à la liste des polluants non réglementés prioritaires dont le suivi doit être renforcé au niveau national compte tenu des données sanitaires disponibles, d'après les recommandations de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) en 2018[2]

ATMO Grand Est a donc mis en place une campagne de mesure en concertation avec l'EuroAirport et en incluant les associations de riverains dans les démarches de préparation et de rédaction du rapport. Les principaux objectifs de l'étude portent sur les points suivants :

- La caractérisation spatiale des niveaux de concentration en nombre de PUF sur et autour de la plateforme aéroportuaire ;
- L'analyse de corrélation entre les niveaux de concentration, les conditions météorologiques et le trafic aérien ;
- L'identification des zones associées aux niveaux maximums ;
- La comparaison de ces niveaux à ceux de précédentes études si des données bibliographiques comparables sont disponibles.

Pour répondre à ces objectifs, une campagne de mesure exploratoire basée sur 11 points de mesure a été mise en place sur et autour de la plateforme aéroportuaire. Les caractéristiques techniques et méthodologiques de cette étude sont présentées dans le paragraphe suivant.

2. CONDITIONS DE REALISATION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

2.1. POLLUANTS SUIVIS

Cette campagne exploratoire vise la mesure des particules ultrafines (PUF ou $PM_{0.1}$ définies comme les particules de diamètre inférieur à 100 nm) aux vues des objectifs de l'étude. Les polluants réglementés (PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x et COV) n'ont pas été intégrés à cette campagne. Toutefois, pour permettre d'éventuelles comparaisons et étoffer cette étude, une seconde campagne distincte de mesures des polluants réglementés a été réalisée en parallèle de cette campagne exploratoire des PUF. Les données réglementaires feront l'objet d'un second rapport.

Les particules ultrafines sont associées à des effets sanitaires sur le système cardiovasculaire et le système respiratoire d'après de nombreuses études dont le rapport de l'ANSES (2019)[2]. Compte tenu de leur taille, les PUF sont capables de traverser les barrières biologiques et peuvent ainsi être transportées par le sang vers d'autres organes (translocation)[3], [4].

La réglementation en vigueur en 2022 en air ambiant ne concerne pas les PUF dont la mesure la plus représentative est la concentration en nombre. Il n'existe donc aucune valeur réglementaire à l'heure actuelle pour les particules ultrafines. Toutefois, les particules ultrafines sont identifiées comme polluant non réglementé prioritaire par l'ANSES comme souligné précédemment. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a également fait des recommandations en 2021 pouvant servir de références : une moyenne journalière inférieure à 1000 particules/cm³ peut être considérée comme une concentration basse tandis qu'une moyenne journalière supérieure à 10 000 particules/cm³ ou une moyenne horaire supérieure à 20 000 particules/cm³ peuvent être considérées comme des concentrations hautes[5]. De plus, leur suivi sur les plateformes aéroportuaires est encouragé par l'autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires.

2.2. METHODOLOGIE DE MESURES EN AIR AMBIANT

Les particules ultrafines sont mesurées via la concentration en nombre totale exprimée en nombre de particules/cm³ ou en fonction de leur diamètre appelée distribution granulométrique. Ces deux métriques font l'objet de normes techniques présentées dans le Tableau 1 ci-dessous.

Polluants	Moyen de mesure	Norme technique
Concentration en nombre totale (PUF)	Analyseur Condensation Particle Counter (CPC)	XP CEN/TS 16976 - Air ambiant - Détermination de la concentration en nombre de particules de l'aérosol atmosphérique
Distribution granulométrique (PUF)	Analyseur Mobility Particle Sizer Spectrometer (MPSS)	XP CEN/TS 17434 - Air ambiant - Determination of the particle size spectra of atmospheric aerosol using a Mobility Particle Size Spectrometer (MPSS)

Tableau 1 : Moyens de mesure des particules ultrafines et normes techniques associées

La stratégie nationale de suivi des particules ultrafines est basée sur la mesure du nombre total par CPC mais les informations apportées par la distribution granulométrique ont des avantages notamment pour distinguer les sources de particules. Par exemple, les études mettent en évidence une différence de distribution en taille des particules issues de moteur d'avion (10-20 nm) par rapport aux particules émises par les engins d'assistance au sol (GSE) à motorisation thermique (50-100 nm) (Figure 1).

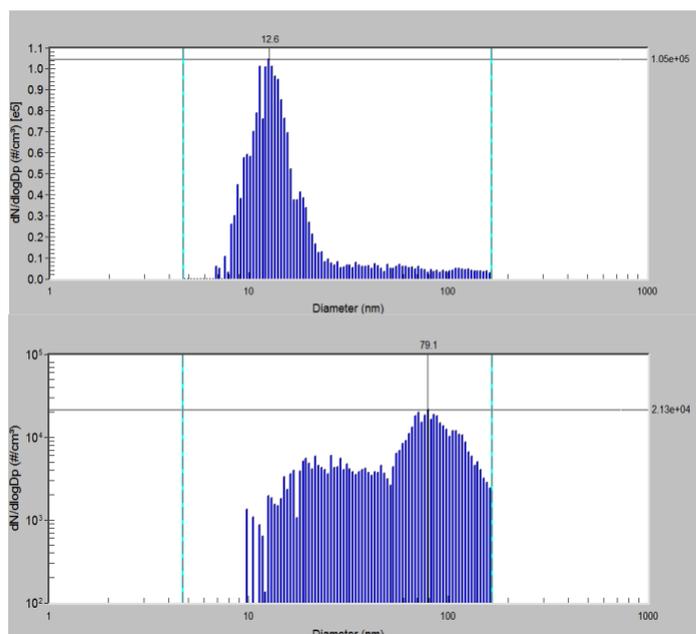


Figure 1 : Distribution granulométrique des particules pour les moteurs d'avions (haut) et les engins d'assistance au sol (bas)[6]

Ces systèmes de mesure présentent de nombreuses contraintes techniques (usage de butanol, présence d'une source radioactive ou rayons-X...) et un coût élevé, ce qui limite leur usage pour une campagne nécessitant un grand nombre de points de mesure. Ainsi, le capteur Partector 2 a été utilisé dans cette campagne de mesure.

Le Partector 2 est un appareil de mesure portable basé sur une mesure de la charge (Annexe 1). Il compte les particules dès 10 nm de diamètre, point indispensable compte tenu de l'association entre le trafic aérien et les PUF de diamètre 10-20 nm[6]–[10] et jusqu'à 300 nm de diamètre. Il peut être déployé en autonomie à l'extérieur grâce à un caisson de protection des intempéries et un système d'alimentation électrique par panneau solaire (Figure 2). Cet appareil de mesure innovant permet notamment de mesurer la concentration en nombre totale (nombre de particules/cm³) et le diamètre moyen des particules (nm).



Figure 2 : Partector 2 dans son caisson étanche

Afin de valider les mesures de cet appareil de mesure, plusieurs vérifications ont été réalisées :

- Une comparaison de 2 Partectors à un CPC (analyseur de référence à l'échelle nationale) sur une station de mesure ATMO Grand Est ;
- Des comparaisons de tous les Partectors de la campagne de mesure sur un point de mesure de la plateforme aéroportuaire.

2.3. ZONE D'ETUDE ET IMPLANTATIONS DES SITES DE MESURE

La campagne de mesure est basée sur 11 points de mesure répartis sur la plateforme aéroportuaire et dans les zones environnantes. Le plan d'échantillonnage des 11 points de mesure a été élaboré en concertation avec l'aéroport et les associations des riverains (Figure 3).

Chaque point de mesure a un objectif associé :

- Les points 1 à 5 permettent de caractériser la plateforme aéroportuaire en ciblant des zones d'activités différentes (pistes : points 1 et 2, tarmac : points 3 et 4, parking : point 5).
- Les points 6 et 8 permettent de caractériser d'autres sources environnantes, respectivement le trafic routier à proximité de l'autoroute et le trafic ferroviaire à proximité d'une gare.
- Les points 7, 9, 10 et 11 permettent respectivement de caractériser les zones urbaines est (Saint-Louis), sud (Hésingue), ouest (Blotzheim) et nord (Bartenheim-la-Chaussée) à proximité de l'aéroport.

Les emplacements des points de mesure ont été sélectionnés afin de représenter au mieux l'activité ciblée tout en respectant les contraintes techniques et, lorsque c'était possible, les points ont été placés aux mêmes endroits que ceux de la campagne réglementaire. Une installation à hauteur d'homme est privilégiée pour les points de mesure (1,3-1,7 m), exceptés pour les points 1 et 4 (0,3-0,5 m) à cause de contraintes techniques et de sécurité et les points 7 et 10 (3 m) placés sur les laboratoires mobiles.



Figure 3 : Plan d'échantillonnage campagne PUF

2.4. PLANNING DE LA CAMPAGNE DE MESURE

La campagne de mesure PUF s'est déroulée sur une période d'un mois, du 15 juin au 13 juillet 2022. Cette période estivale permet de se placer dans une situation maximale en termes de trafic aérien puisque la période juin à août est associée au trafic le plus dense, comme le montre les données des mouvements aériens présentées dans la Figure 4. Ces mouvements aériens correspondent aux décollages et atterrissages pour tous les types d'avions.

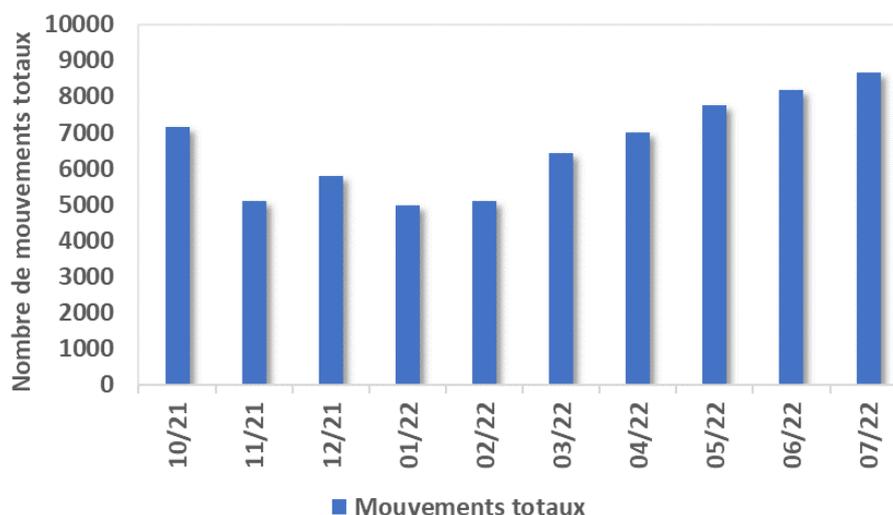


Figure 4 : Nombre de mouvements (atterrissage et décollage tout type d'avions) par mois (Source : [Aéroport de Bâle Mulhouse - Webreporting](#))

Cette campagne a été complétée par deux périodes d'intercomparaison des appareils de mesure afin de vérifier la reproductibilité des mesures entre elles en éliminant la variabilité entre les instruments. Les mesures ont donc eu lieu en 3 temps :

- Phase 1 : intercomparaison des 11 appareils de mesure avant campagne sur le toit de l'aérogare de l'aéroport pendant 3 semaines, du 24 mai au 14 juin 2022. Cette intercomparaison initialement prévue sur une semaine a été prolongée, en lien avec un décalage de la date de début de campagne à la suite d'un délai pour l'alimentation électrique pour le site numéro 7.
- Phase 2 : campagne de mesure PUF en parallèle de la campagne réglementaire pendant 1 mois du 15 juin au 13 juillet 2022.
- Phase 3 : intercomparaison des 11 appareils de mesure après campagne sur le même emplacement que la phase 1, pendant 1 semaine, du 19 au 26 juillet 2022.

3. RESULTATS ET ANALYSES

Ce chapitre regroupe l'ensemble des exploitations réalisées sur les données de la campagne de mesure PUF. En plus des mesures de concentration en nombre et du diamètre moyen par les Partector 2, d'autres mesures et données complémentaires ont été collectées dans le cadre de l'étude (paramètres météorologiques, autres sites de mesure régionaux, trafic aérien, polluants réglementaires...).

3.1. QUALITE DES MESURES ET LIMITES DE LA CAMPAGNE

Pour évaluer et vérifier la qualité des mesures par les Partector 2, deux types de comparaisons ont été mis en œuvre avant et/ou après la campagne de mesure :

- Une comparaison avec un CPC répondant à la spécification technique de mesure de la concentration en nombre totale dans l'air ambiant afin d'étudier la corrélation entre deux Partector 2 et la méthode de référence (4 semaines de comparaison entre avril et mai).
- Une comparaison entre les Partector 2 avant et après la campagne de mesure afin de vérifier la reproductibilité des mesures entre les systèmes.

NB : Les Partector 2 sont identifiés par leur numéro de point de mesure de la campagne pour plus de clarté.

3.1.1. Comparaison avec l'analyseur de référence (CPC)

Les Partector 2 et le CPC ont été comparés sur une station de mesure d'ATMO Grand Est en fond urbain à Metz pendant 4 semaines. Les instruments sont présentés dans les deux figures ci-dessous.



Figure 5 : Condensation Particle Counter (CPC) de référence à l'intérieur de la station



Figure 6 : Partector 2 dans leur boîtier jaune sur le toit de la station

Les paramètres de régression linéaire (R^2 , pente) ont été étudiés pour les deux appareils en comparaison au CPC de référence. Les graphiques de corrélation sont présentés dans la Figure 7 et les paramètres de régression sont regroupés dans le Tableau 2. La série temporelle de la période de comparaison est également disponible dans l'annexe 2.

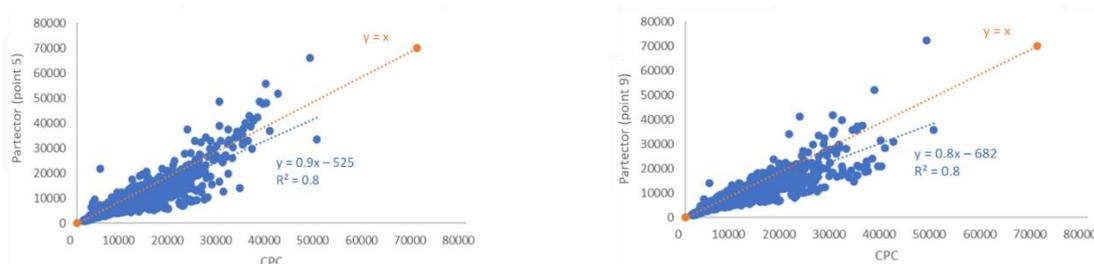


Figure 7 : Graphiques de corrélation entre les Partector 2 et le CPC

	Point 5	Point 9
R ²	0,8	0,8
Pente	0,9	0,8
Ordonnée à l'origine	-525	682

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des paramètres de régression linéaire de la comparaison Partector/CPC

Cette comparaison met en évidence des mesures comparables entre le CPC et les Partector 2 dans la plage de mesure de 0 à 70 000 particules/cm³ avec des coefficients R² égaux à 0,8, une pente comprise entre 0,8 et 0,9 et une ordonnée à l'origine comprise dans l'intervalle ±1 000 particules/cm³. Une légère sous-estimation des Partector 2 par rapport au CPC est observée pour les deux capteurs, ce qui est cohérent et peut s'expliquer par le principe de mesure et le fait que le CPC mesure les PUF dès 7 nm et le Partector 2 qu'à partir de 10 nm.

Seule la mesure de la concentration en nombre peut être comparée à l'analyseur de référence, par conséquent le diamètre moyen des particules mesuré par les Partector 2 ne sera comparé qu'entre les systèmes capteurs (voir partie 3.1.2). Les mesures régionales par CPC disponibles à Metz et Strasbourg pourront donc être utilisées comme données urbaines de fond à comparer aux données mesurées pendant la campagne.

3.1.2. Comparaison intra-technique : avant et après campagne

Les 11 Partector 2 ont été comparés entre eux sur le toit de l'aérogare de l'aéroport avant et après la campagne. La disposition des appareils pour ces deux comparaisons est disponible dans l'annexe 3. Les séries temporelles de la période de comparaison de la concentration en nombre et du diamètre moyen sont présentés dans les figures ci-dessous. Les deux comparaisons (avant et après campagne) mettent en évidence une bonne reproductibilité de la concentration en nombre et du diamètre moyen entre les appareils. Un résumé des paramètres de régression linéaire obtenus pour les deux comparaisons est présenté dans le tableau ci-dessous.

	Concentration en nombre		Diamètre moyen	
	Avant campagne	Après campagne	Avant campagne	Après campagne
R ²	1,0	0,8 à 1,0	0,9 à 1,0	0,8 à 1,0
Pente	0,8-1,2	0,7 à 1,3	0,9 à 1,1	0,7 à 1,3
Ordonnée à l'origine	-1333 à 1704	-2613 à 4730	-1 à 3	-7 à 9

Tableau 3 : Récapitulatif des paramètres de régression linéaire pour la concentration en nombre et le diamètre moyen avant et après campagne : gamme de valeurs (R², pente et ordonnée à l'origine) pour les comparaisons 2 à 2 de chaque Partector 2 avec les autres

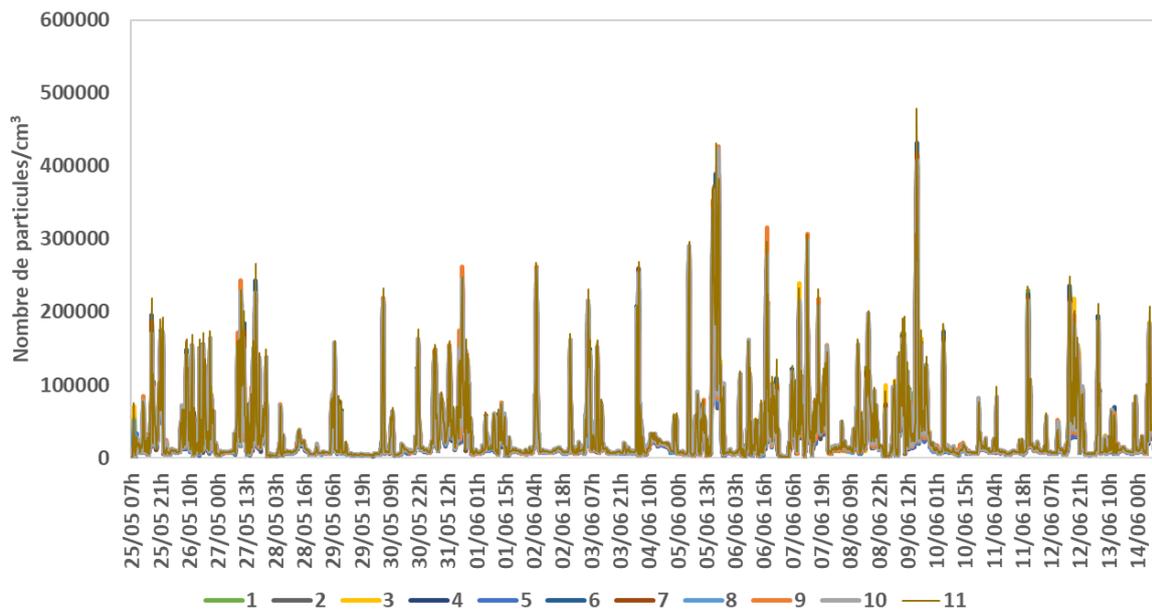


Figure 8 : Nombre de particules en moyenne ¼ horaires – comparaison avant campagne. A noter une perte de données pour le Partector 8222 (point n°6) à la suite d'un problème sur la carte électronique.

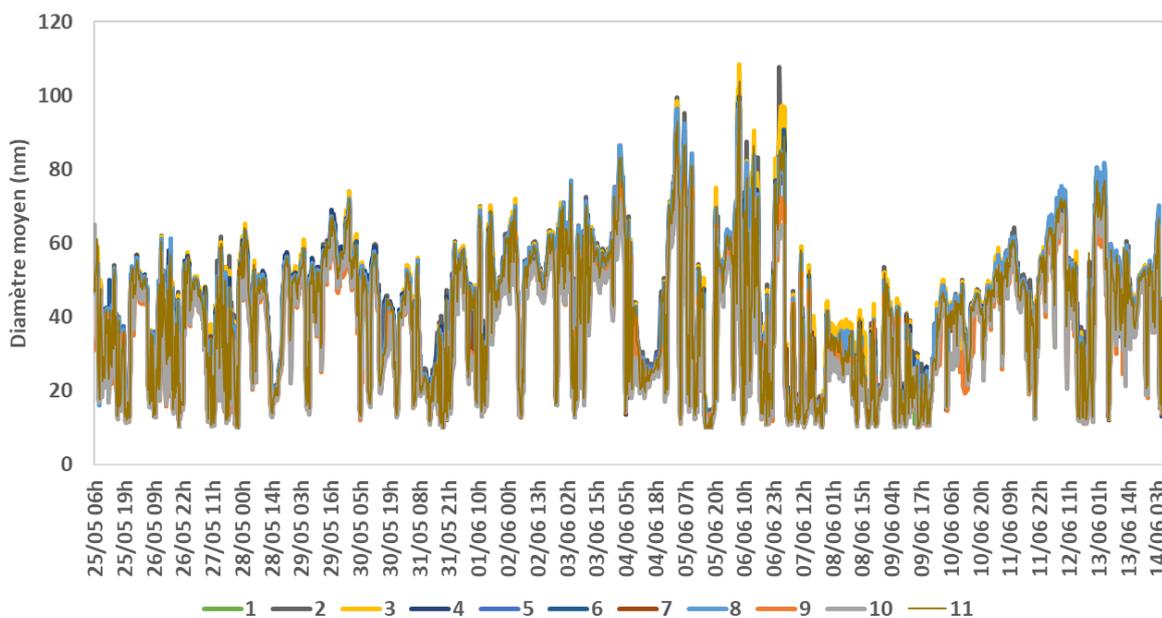


Figure 9 : Diamètre moyen des particules en moyenne ¼ horaires – comparaison avant campagne. A noter une perte de données pour le Partector 8222 (point n°6) suite à un problème sur la carte électronique.

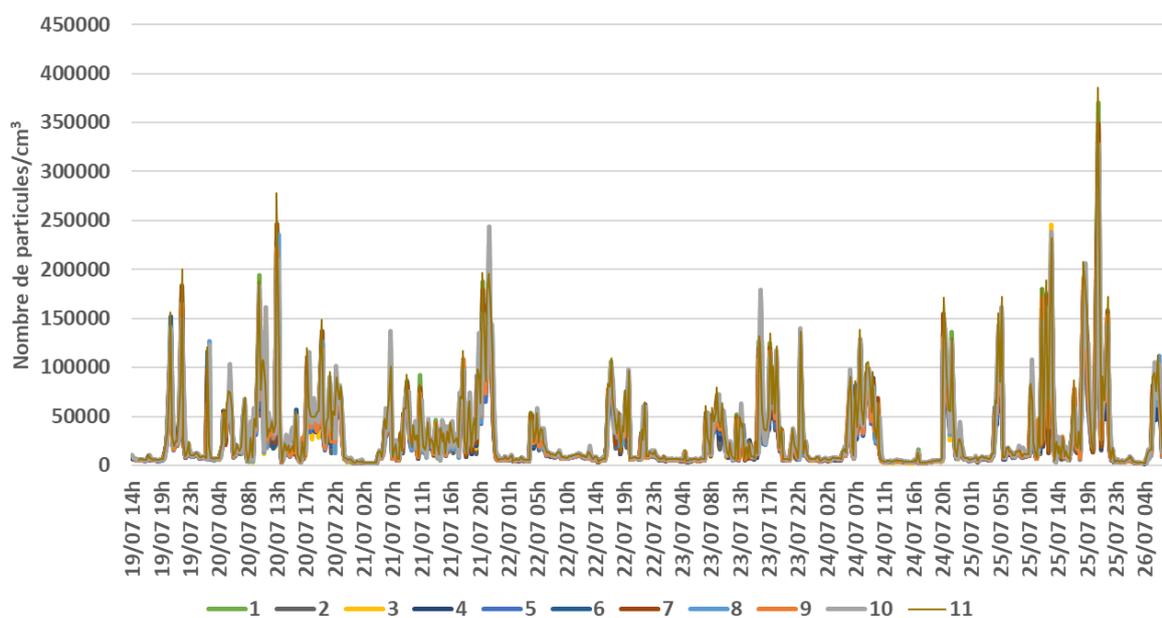


Figure 10 : Nombre de particules en moyenne ¼ horaires – comparaison après campagne

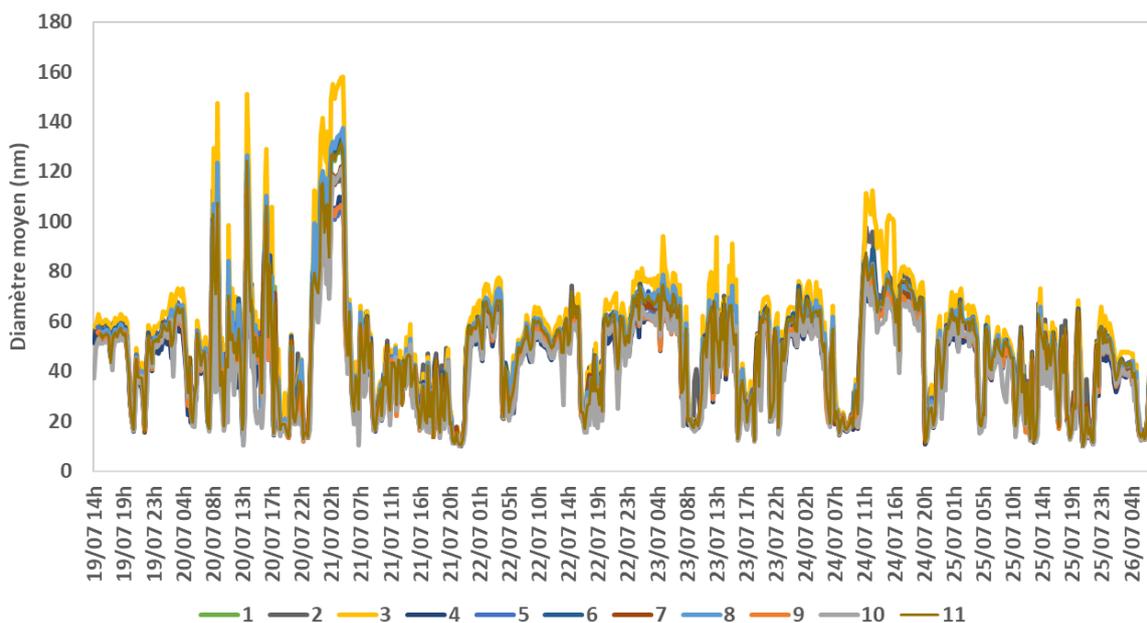


Figure 11 : Diamètre moyen des particules en moyenne ¼ horaires – comparaison après campagne

3.2. CAMPAGNE DE MESURE

Les mesures ont été étudiées en moyennes $\frac{1}{4}$ horaires pour tenir compte de la variabilité temporelle relativement rapide des mouvements des avions et ainsi mieux identifier leur impact ponctuel potentiel tout en conservant une bonne qualité de données. En fonction des objectifs de comparaison, les moyennes horaires et journalières ont également été utilisées.

3.2.1. Paramètres météorologiques

Les conditions météorologiques jouent un rôle important sur la pollution atmosphérique et en particulier sur les particules avec un impact potentiel de lessivage des particules. Toutefois, les particules ultrafines sont moins influencées par ces phénomènes de lessivage que les particules plus grosses[11], [12]. Les principales grandeurs météorologiques sont présentées dans la Figure 12. La campagne de mesure est caractérisée par des températures élevées avec des moyennes journalières comprises entre 20 et 30°C et une humidité relative comprises entre 50 et 90%. La première semaine de la campagne est associée à une période caniculaire avec les températures les plus élevées de la campagne et une humidité relative très faible (<60%), avec un pic de température atteint le 18 juin en France. Le milieu de la campagne a été plus humide avec des précipitations observées sur la majorité des jours tout en conservant des températures douces. La fin de la campagne a gardé des températures et humidité stables et moyennes par rapport à la totalité de la campagne, sans précipitations.

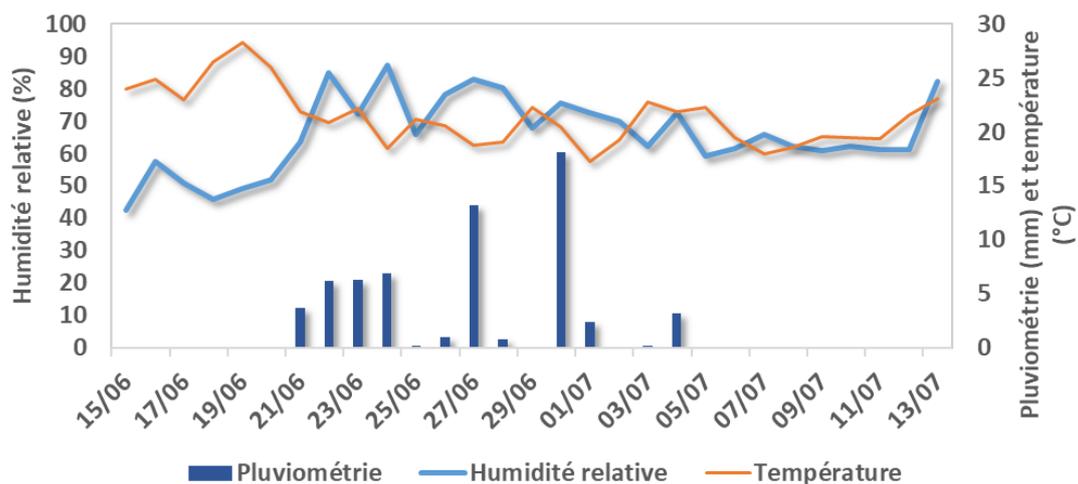


Figure 12 : Paramètres météorologiques de la station de mesure située sur l'aéroport (données : Météo France)

Pour représenter au mieux les phénomènes de dispersion locale, plusieurs points de mesure du vent ont été utilisés dans cette campagne (Figure 13). Les principales directions de vents sur l'ensemble des sites mettent en évidence les secteurs dominants provenant de l'ouest et de l'axe nord-sud. La station Météo France met en évidence des vents provenant du nord avec vitesses plus élevées que sur les autres stations possiblement en lien avec l'altitude des mesures dans une zone plus dégagée (altitude des mesures météorologiques : 10 m pour le site Météo France et entre 5 et 6 mètres pour les autres).

Globalement, les vents sont faibles sur la campagne de mesure avec 75% des moyennes $\frac{1}{4}$ horaires inférieures à 2 m/s sur les sites de Bartenheim, de Blotzheim et des points de mesure 7 (Saint-Louis) et 9 (Hésingue). Ponctuellement, des vents plus forts apparaissent sur ces sites avec 4 à 15% seulement de vents supérieurs à 2 m/s et des maxima compris entre 5 et 6 m/s. Les stations à proximité de la plateforme aéroportuaire (point 10 et station EAP) étant plus dégagées présentent des vitesses de vent plus fortes, notamment pour le site EAP à nouveau en lien avec l'altitude des mesures.

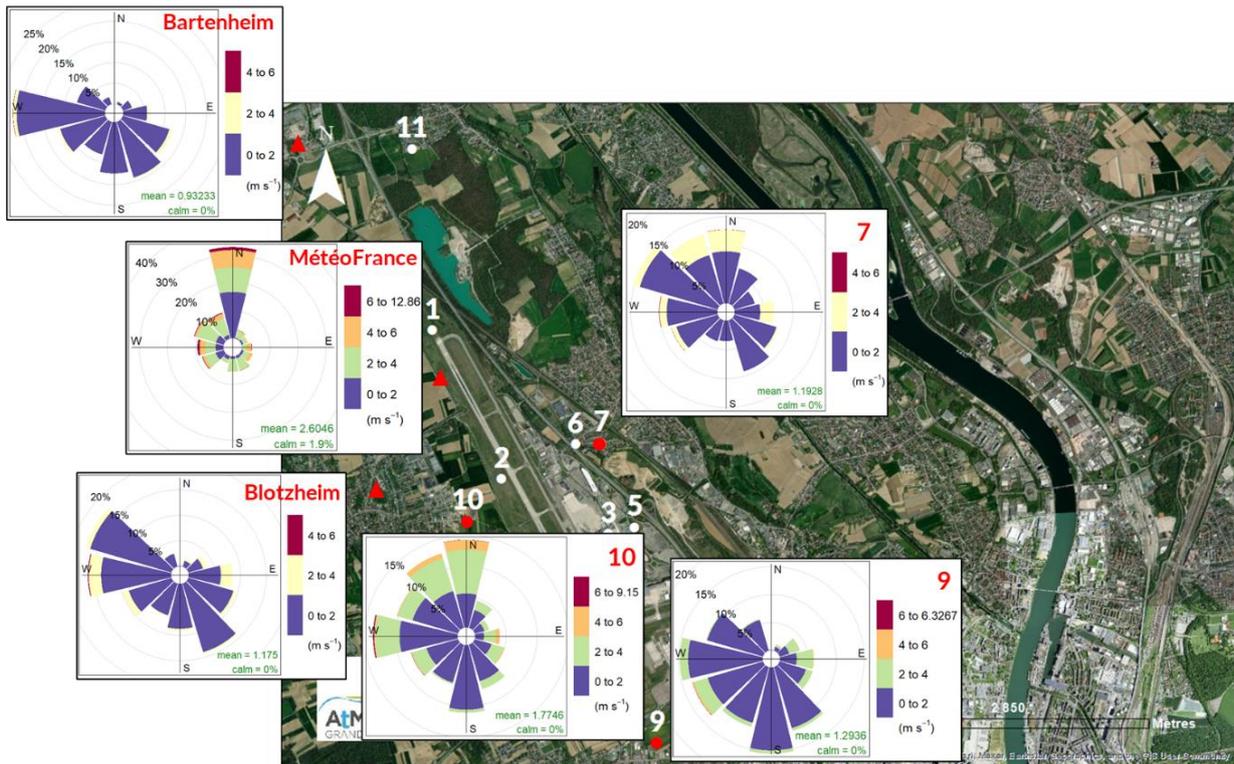


Figure 13 : Rose des vents du site Météo France situé sur la plateforme aéroportuaire ou des stations de mesure du bruit (triangle rouge) ou des sites de mesure de la campagne PUF (rond rouge)

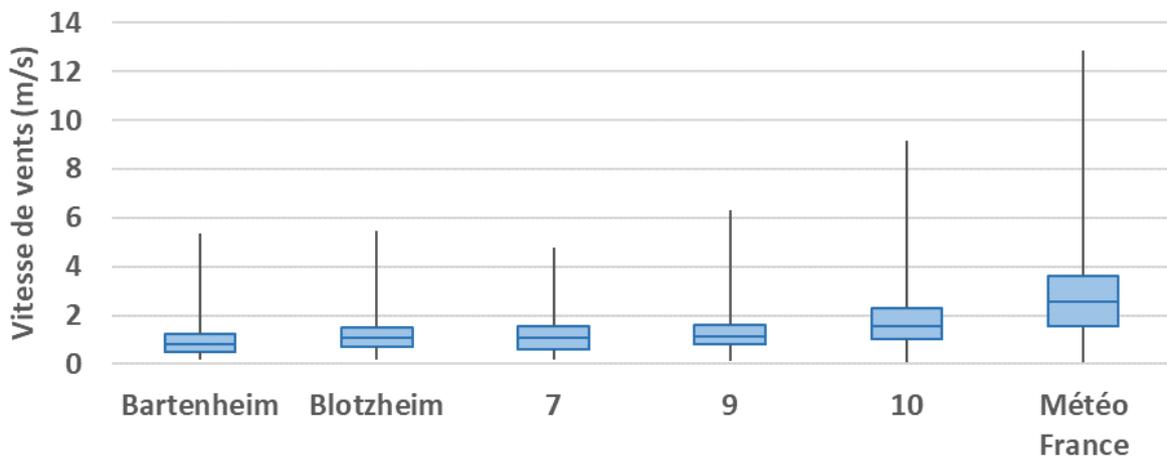


Figure 14 : Boxplot des vitesses de vent en moyenne ¼ horaires pour chaque site

3.2.2. Moyennes sur la campagne

La concentration en nombre moyenne mesurée sur les 11 points de mesure au cours de la campagne de mesure varie entre 8 200 et 60 000 particules/cm³ (Figure 15). De manière globale, les points situés sur la plateforme aéroportuaire sont associés aux niveaux les plus élevés (1, 3, 4 et 5) ainsi que le point de mesure à proximité de l'autoroute (point 6). Ces variations spatiales semblent confirmer l'importance des émissions de particules ultrafines liées au trafic aérien mais également au trafic routier.

La Figure 16 représente la cartographie du diamètre moyen mesuré sur les 11 points de mesure au cours de la campagne. Les diamètres plus petits sont relevés à proximité de la plateforme aéroportuaire, excepté pour le point 2. Les diamètres mesurés pendant cette campagne présentent une variation moins marquée que le nombre de particules avec des diamètres compris entre 41 et 54 nm. La variabilité moins marquée du diamètre peut notamment s'expliquer par la méthode de mesure basée sur un diamètre moyen et non sur une distribution granulométrique qui met en évidence le diamètre dominant. De plus, la gamme de mesure entre 10 et 300 nm ne prend pas en compte les particules de diamètre inférieur à 10 nm ce qui contribue également à un écart potentiel par rapport à des mesures de distribution (MPSS). La mesure du diamètre moyen limite donc la distinction en fonction des sources notamment entre le trafic aérien et le trafic routier.

Sur la plateforme aéroportuaire, une variabilité spatiale apparaît également en termes de nombre de particules et de diamètre moyen. Les sites 1 et 4 ressortent principalement pour leurs concentrations en nombre très élevées par rapport aux autres sites comparativement aux sites 2 à 5 qui ont des niveaux plus faibles. Les activités à proximité de ces sites de mesure et l'influence du vent peuvent expliquer cette influence marquée :

- Le site numéro 1 est situé au nord des pistes et il est donc influencé par les moteurs des avions lors des décollages/atterrissages sur la piste principale pour des vents sud/sud-est qui est l'une des directions de vent majeures sur la période de mesure.
- Le site numéro 2 est situé à l'ouest de la piste principale, or les vents venant de l'est sont assez peu représentés pendant cette campagne de mesure ce qui peut expliquer une influence moins marquée. Ce site semble plus similaires au site 10 qu'aux sites situés sur la plateforme.
- Les sites 3 et 4 sur le tarmac subissent une influence différente puisque le point 3 plus encaissé limite la dispersion mais il est également plus protégé de l'influence des décollages/atterrissages tandis que le point 4 est plus proche des pistes. De plus, en termes d'usage des avions au sol, au niveau du point 3 les moteurs des avions sont coupés car ils sont soit à l'arrêt soit déplacés par les systèmes push-back (moteurs diesel) tandis qu'au point 4, les moteurs des avions sont allumés et la zone est soumise aux départs et arrivées vers les pistes (taxi-in et taxi-out). Les précédentes études ont mis en évidence que les sources principales de PUF sur une plateforme aéroportuaire étaient liées à l'usage des moteurs des avions plus qu'au reste des activités dans et autour de l'aéroport (véhicules terrestres de chargement et autres)[9].
- Le site 5 présente des niveaux plus faibles que les autres sites sur la plateforme en lien possiblement avec la distance du point de mesure aux pistes (ainsi que le bâtiment de l'aérogare qui représente une barrière physique potentielle) et l'influence des vents. Il est toutefois associé à une influence du trafic routier en lien avec l'activité aéroportuaire mais également à l'autoroute pour y accéder.

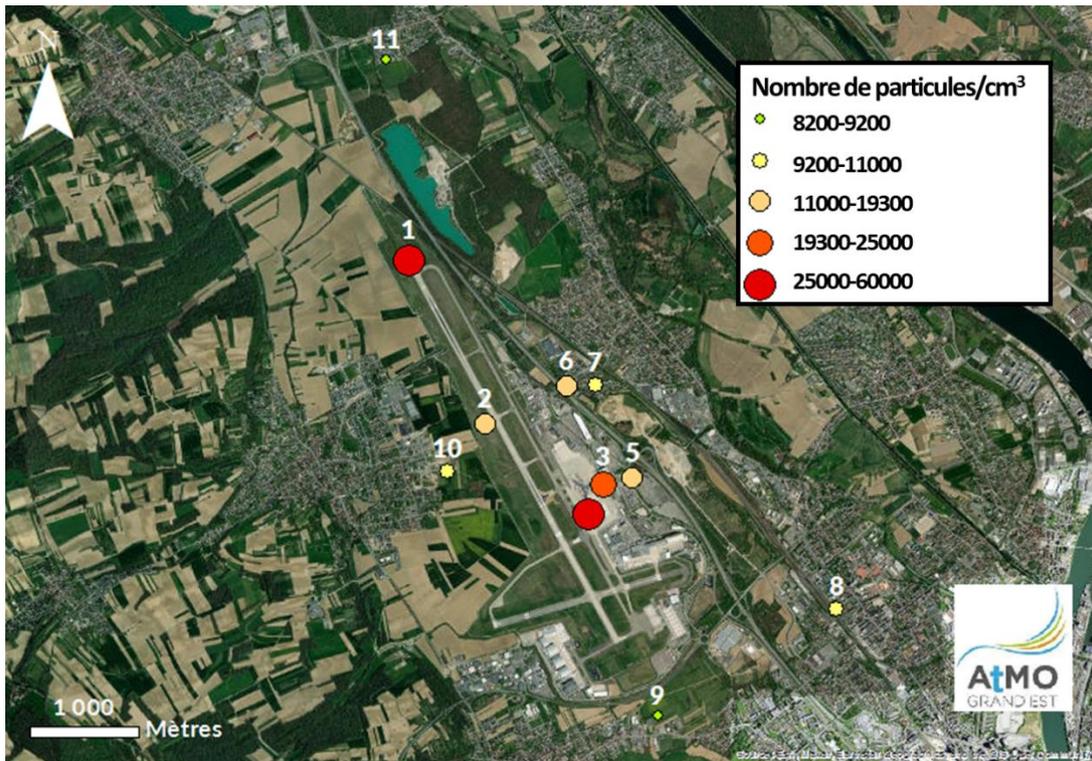


Figure 15 : Cartographie de la concentration en nombre de particules moyenne sur la campagne (la moyenne de chaque site est représentée par une échelle de couleur)

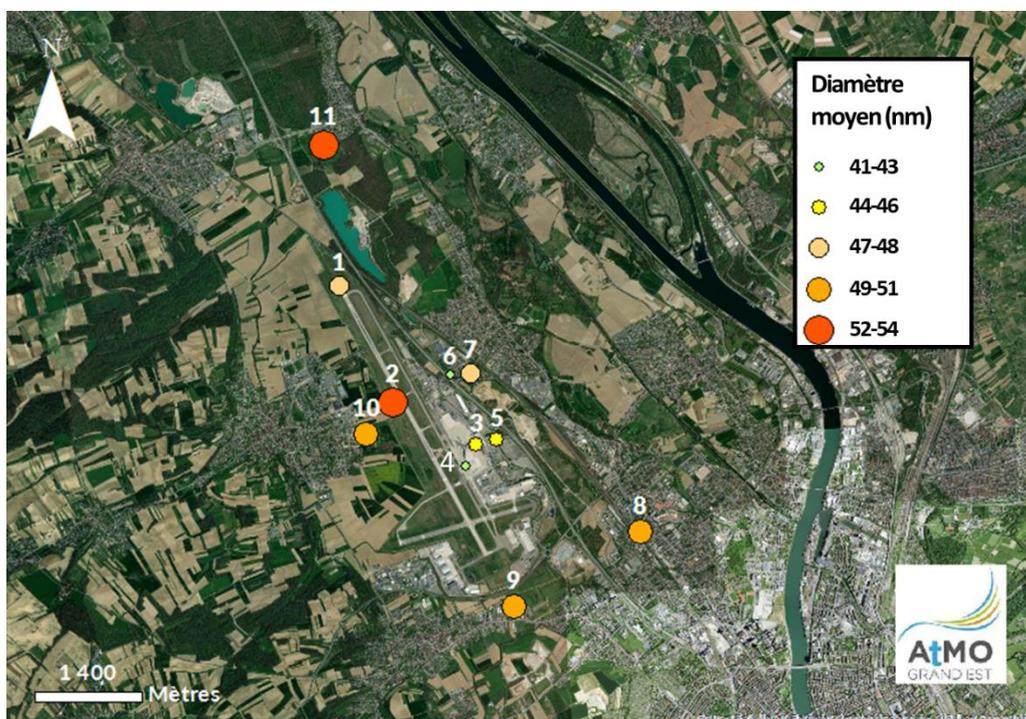


Figure 16 : Cartographie du diamètre moyen des particules sur la campagne (le diamètre moyen de chaque site est représenté par une échelle de couleur)

Pour mieux étudier la variabilité et la dispersion des mesures de la concentration en nombre et du diamètre moyen, les boxplots représentant le 1^{er} quartile, la médiane, le 3^{ème} quartile (boîte bleue) ainsi que le minimum et le maximum (barres noires) sont présentés dans la Figure 17 et la Figure 18.

Les sites situés sur la plateforme aéroportuaire ainsi que le site autoroute (6) présentent des concentrations plus dispersées montrant une forte variabilité des niveaux mesurés. Les concentrations maximums peuvent atteindre plus d'1 million de particules/cm³ (sites 1 et 4) et sont plus de deux fois supérieures aux maximums des autres sites (Figure 17). Ces résultats confirment l'influence de l'aéroport sur les niveaux de PUF sur la plateforme. L'étude des sites environnants (7 à 11) met en évidence des niveaux moyens et une dispersion similaire aux sites de comparaison de la région (sites urbains de fond à Metz et Strasbourg). Toutefois, l'influence de l'aéroport apparait par l'étude des maximums qui sont 1,4 à 2,3 fois plus élevés sur les sites à proximité de l'aéroport (90 000-115 000 particules/cm³) comparativement aux maximums à Metz et Strasbourg (50 000-65 000 particules/cm³). L'origine aéroportuaire de ces maxims est confirmée par l'étude des vents, qui est approfondie en partie 3.2.6.

Ces données confirment une influence locale ponctuelle de l'aéroport sur les sites environnants mais dont l'impact sur la durée de la campagne est lissé en lien avec l'influence des directions de vent, les sites n'étant pas toujours sous les vents de l'aéroport, mais également par la variabilité spatiale rapide des particules ultrafines [3], [8]. L'importance des vents sur les concentrations des PUF a déjà été mise en évidence dans de nombreuses études aéroportuaires [10], [13], [14]. En effet, les PUF vont subir divers processus physiques dans l'atmosphère telle que la dispersion, les processus de coagulation/condensation mais également avec la pollution particulaire ambiante (coagulation avec des particules préexistantes ou condensations de gaz à leur surface)[9], [12], [15]. Ces processus vont conduire à une réduction de la concentration en nombre avec la distance (dispersion/dilution) mais également à une augmentation du diamètre et une baisse de la concentration en nombre (agrégation/condensation).

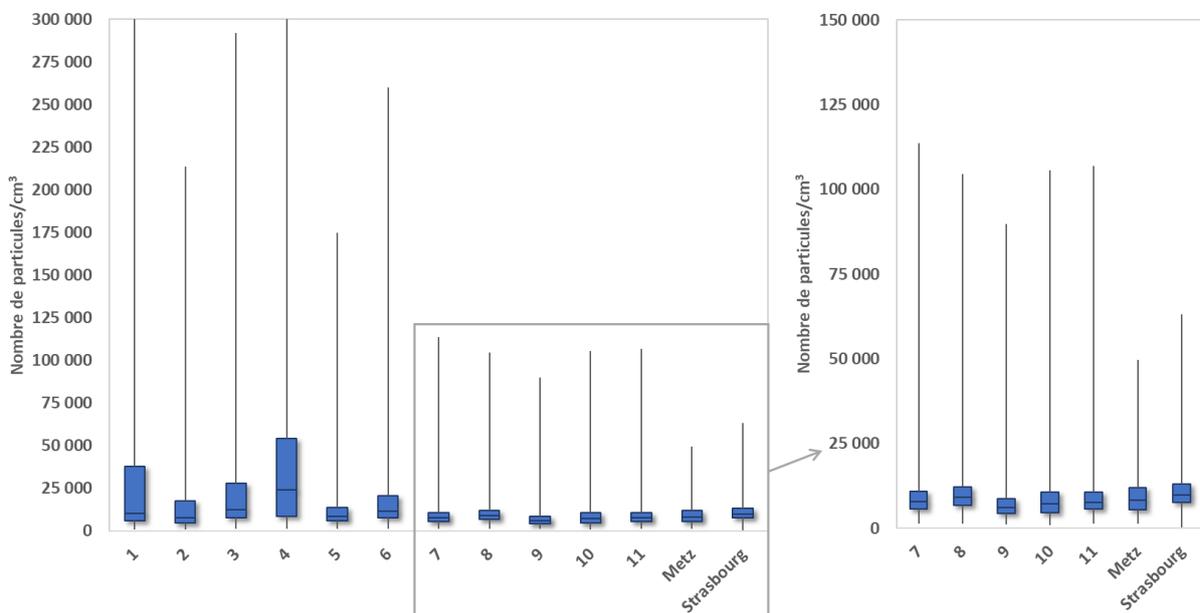


Figure 17 : Boxplot de la répartition des moyennes 1/4 horaires de la concentration en nombre par site et comparaison aux niveaux mesurés sur deux agglomérations de la région en site urbain de fond
Par soucis de clarté, l'échelle de concentrations a été fixée à 300 000 particules/cm³ pour l'ensemble des sites : les sites 1 et 4 possèdent un maximum respectivement égal à 1 672 581 et 1 384 306 particules/cm³

L'étude du diamètre moyen met en évidence des variations moins contrastées entre les différents sites (Figure 18). Le diamètre minimum est compris entre 10 et 12 nm sur l'ensemble des sites. Comme précédemment évoqué, le trafic aérien est fortement associé aux PUF de diamètre entre 10 et 20 nm [7], [8], [10]. En considérant les moyennes ¼ horaires pendant la campagne de mesure, entre 3 et 8% des diamètres moyens sont inférieurs à 20 nm pour le site à proximité de l'aéroport contre 9% pour le site autoroute et entre 1 et 5% pour les sites de fond mettant en évidence une tendance de diamètres plus faibles à proximité des sources sans distinction entre le trafic aérien et le trafic autoroutier. Comme évoqué précédemment, la limite associée à la mesure du diamètre moyen ne permet pas la distinction de ces deux sources, nécessitant une mesure plus fine de la taille des particules via la mesure de la distribution granulométrique.

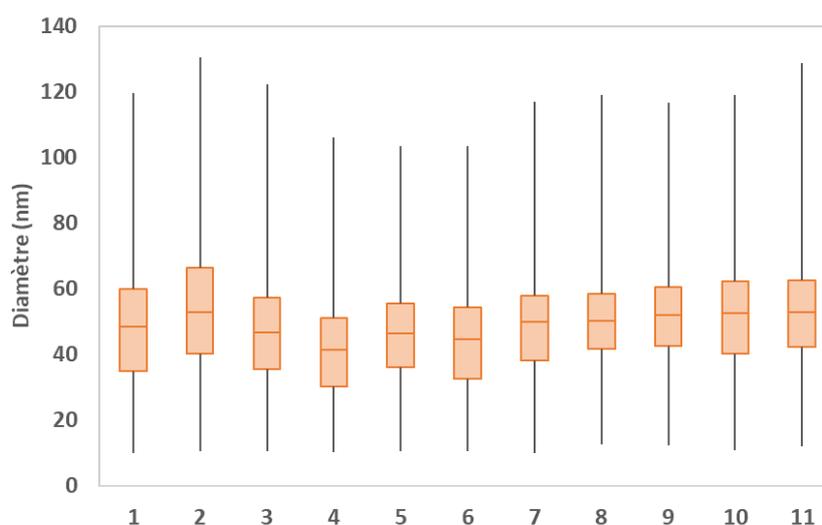


Figure 18 : Boxplot de la répartition des moyennes 1/4 horaires du diamètre moyen par site

3.2.3. Comparaison à des données de référence

Il n'existe pas de valeurs limites en air ambiant mais les moyennes horaires et journalières peuvent être comparées aux concentrations hautes (et/ou basses) issues des recommandations OMS (Figure 19 et Figure 20). Pour l'ensemble des sites, les moyennes journalières sont supérieures à la concentration journalière basse OMS (1 000 particules/cm³) confirmant les sources de PUF en zone urbaine. Les sites sur la plateforme aéroportuaire (moins marqué pour le point 2) et le site autoroute ont au moins 75% de leur moyenne journalière supérieure à la concentration haute OMS (10 000 particules/cm³) tandis que les sites urbains ont entre 20 et 70% des moyennes journalières supérieures à cette concentration haute OMS. En horaire, les sites sous influence (aéroportuaire ou trafic) présentent des concentrations dépassant la concentration haute OMS (20 000 particules/cm³) plus fréquentes que les autres sites. En effet, ces sites aéroportuaires/trafic ont entre 30 et 70% des moyennes horaires qui dépassent la concentration haute OMS contre moins de 10% pour les sites urbains.

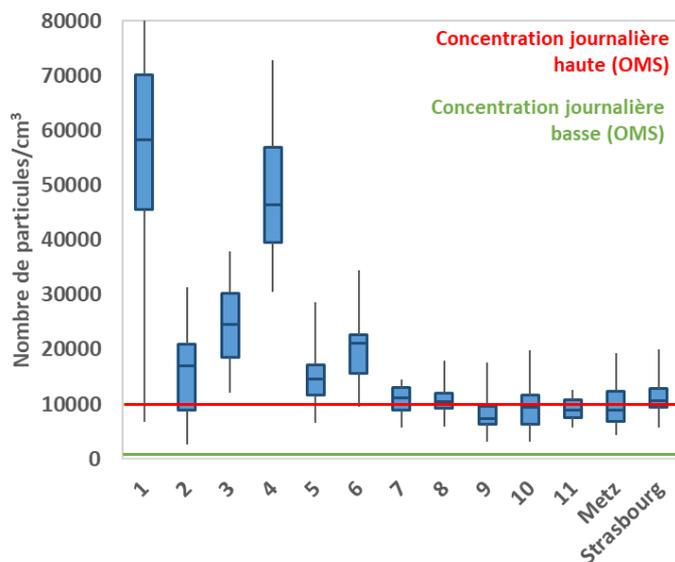


Figure 19 : Comparaison des moyennes journalières aux recommandations OMS

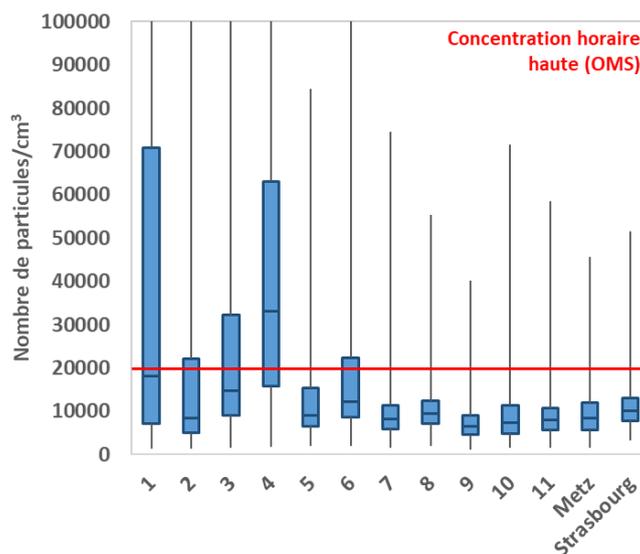


Figure 20 : Comparaison des moyennes horaires aux recommandations OMS. Par souci de clarté, l'échelle a été fixée, les maxima non affichés des points 1, 2, 3, 4 et 6 sont respectivement égaux à 598 064, 132 582, 201 528, 507 216 et 119 870 particules/cm³

Les moyennes sur la campagne de mesure peuvent également être comparés à de précédentes études. Elles sont similaires voire plus élevées que les niveaux mesurés sur d'autres études sous l'influence du trafic aérien (en orange). Le site autoroute est associé à des niveaux similaires à ceux mesurés en proximité trafic. Le site urbain proche de la gare et les autres sites urbains sont associés à des niveaux moyens similaires à ceux habituellement observés en site urbain de fond. Toutefois, l'étude des maxima de la concentration a mis en évidence l'impact ponctuel de l'aéroport sur les niveaux, même en site urbain de fond. Il est important de noter que la comparaison à d'autres sites est donnée à titre informatif compte tenu des paramètres, des périodes de mesure et des moyens/méthodologies de mesure différents.

Type/Influence	Concentration en nombre (Particules/cm ³)	Source
Cette étude, plateforme aéroportuaire (points 1 à 5)	16 000-60 000	Cette étude
Cette étude, trafic routier (point 6)	20 000	Cette étude
Cette étude, trafic ferroviaire/Gare (point 8)	11 000	Cette étude
Cette étude, urbain (500-2000 m)	8 000-11 000	Cette étude
Proximité aéroport (150 m)	500 000-3 000 000	[16]
Proximité aéroport (à moins de 2 km)	5 000-12 000	[14]
Proximité aéroport (de 2 à 10 km)	24 000-27 000	[14]
Zone aéroportuaire, aéroport de Nice	13 000-18 000	[17]
Urbain, trafic routier	20 000-50 000	[11], [12]
Urbain, fond (site urbain sans influence directe de sources)	5 000-10 000	[11], [12], [18]
Rural, fond (site rural sans influence directe de sources)	2 000-4 000	[12]
Fond isolé (site éloigné de toutes sources)	0-2 000	[12]

Tableau 4 : Niveaux de concentration en nombre de la bibliographie. Attention, les périodes et durées de mesures ainsi que les méthodes (instrument, gamme de mesure, principe) peuvent être différentes.

Il n'existe pas de valeurs limites en air ambiant pour le diamètre moyen des particules. En termes de comparaison à la bibliographie la plupart des études mettent en évidence les diamètres des particules associées à certaines sources (Tableau 5). La différence entre les différentes sources pendant la campagne n'est pas notable et peut s'expliquer par un lissage des mesures sur la campagne complète. De plus, les gammes de mesures associées à des diamètres moyens sont principalement issues de mesure de distribution granulométrique permettant d'identifier les diamètres les plus importants ce qui peut être masqué par une mesure de diamètre moyen.

Type/Influence	Diamètre (nm)	Source
Cette étude, plateforme aéroportuaire (points 1 à 5)	41-54	Cette étude
Cette étude, trafic routier (point 6)	43	Cette étude
Cette étude, trafic ferroviaire/Gare (point 8)	50	Cette étude
Cette étude, urbain (500-2000 m)	48-52	Cette étude
Trafic aérien	10-20	[7]-[10]
Trafic routier	20-50	[7], [9], [18]-[20]
Combustion biomasse	100-200	[3], [9], [19], [20].

Tableau 5 : Diamètre des particules de la bibliographie. Attention, les périodes et durées de mesures ainsi que les méthodes (instrument, gamme de mesure, principe) peuvent être différentes.

3.2.4. Variations temporelles des mesures

L'influence des variations hebdomadaires a été étudiée par la comparaison entre les moyennes en semaines (du lundi au vendredi) et durant le weekend (samedi-dimanche) comme présentée dans la Figure 21. Le trafic routier présente une baisse notable (-26%) entre le weekend et la semaine associée à la diminution des trajets domicile/travail lors du repos hebdomadaire. A l'inverse, les mouvements aériens ne présentent pas de variation notable (-2%). Ces variations semblent montrer une influence notable du trafic routier sur le point 6, en cohérence avec son influence autoroute mais également sur les points 3, 4 et 5. Les autres sites présentent une différence semaine/weekend moins prononcée qui peut être liée à l'éloignement de l'influence directe de l'autoroute. Bien que le profil soit similaire au trafic aérien, ces données seules ne peuvent permettre de conclure sur l'influence de l'aéroport. Les sites 2 et 10 sont les seuls présentant une tendance inverse (+15-20%) avec des niveaux plus élevés le weekend, pouvant éventuellement être associés à d'autres sources locales non identifiées.

L'étude des variations journalières du nombre de particules et des périodes de précipitations sur la campagne met en évidence que pour l'ensemble des sites, il n'apparaît pas de lien direct entre les journées associées à des précipitations et une baisse nette de la concentration en nombre (Figure 22). De manière générale, pour l'ensemble des sites, la variation des conditions météorologiques pendant la campagne ne semble pas avoir un impact clair sur les concentrations en nombre mesurées. Les variations journalières mettent en évidence une corrélation entre les sites 2 et 10, ce qui semble à nouveau confirmer une influence similaire entre ces deux sites à dissocier des activités aéroportuaires, compte tenu des directions de vents peu favorables à une influence de l'aéroport.

Les moyennes $\frac{1}{4}$ horaires de la concentration en nombre et le nombre de mouvements sont présentés dans la Figure 23 ci-dessous. Plusieurs graphiques ont été réalisés en fonction des sites de mesure avec différentes échelles de concentration pour plus de clarté.

Comme observé précédemment les sites 1 et 4 sont associés aux pics les plus élevés qui apparaissent principalement pour des nombres de mouvements aériens élevés. Des évolutions comparables sont donc observées avec le trafic aérien, sans qu'il n'explique à lui seul l'évolution du nombre de particules, ce qui a déjà été observé sur une étude de l'aéroport de Nice [17]. Ces résultats confirment l'influence du trafic aérien sur les niveaux élevés en PUF sur la plateforme. Les autres sites sur l'aéroport (2, 3 et 5) ainsi que le site autoroute (6) présentent des variations différentes, moins associées aux mouvements des avions. Cette association est encore moins marquée pour les sites hors de la plateforme aéroportuaire indiquant l'influence des autres sources de PUF, du vent et des phénomènes de dilution/coagulation.

Le diamètre moyen présente une variabilité temporelle nettement moins marquée, comme observé précédemment (graphiques présentés en annexe 4). Une réduction du diamètre moyen est toutefois observée sur les périodes où les mouvements aériens sont importants mettant en évidence des particules de diamètres plus fins.

L'influence moins marquée de l'aéroport sur le diamètre moyen peut être lié :

- à une accumulation de différentes sources sur les sites de mesure et l'influence du vent sur l'impact des différentes sources ;

et/ou

- à la méthode de mesure associée permettant d'accéder à un diamètre moyen et non au diamètre dominant, plus performant pour dissocier des sources comme discuté précédemment.

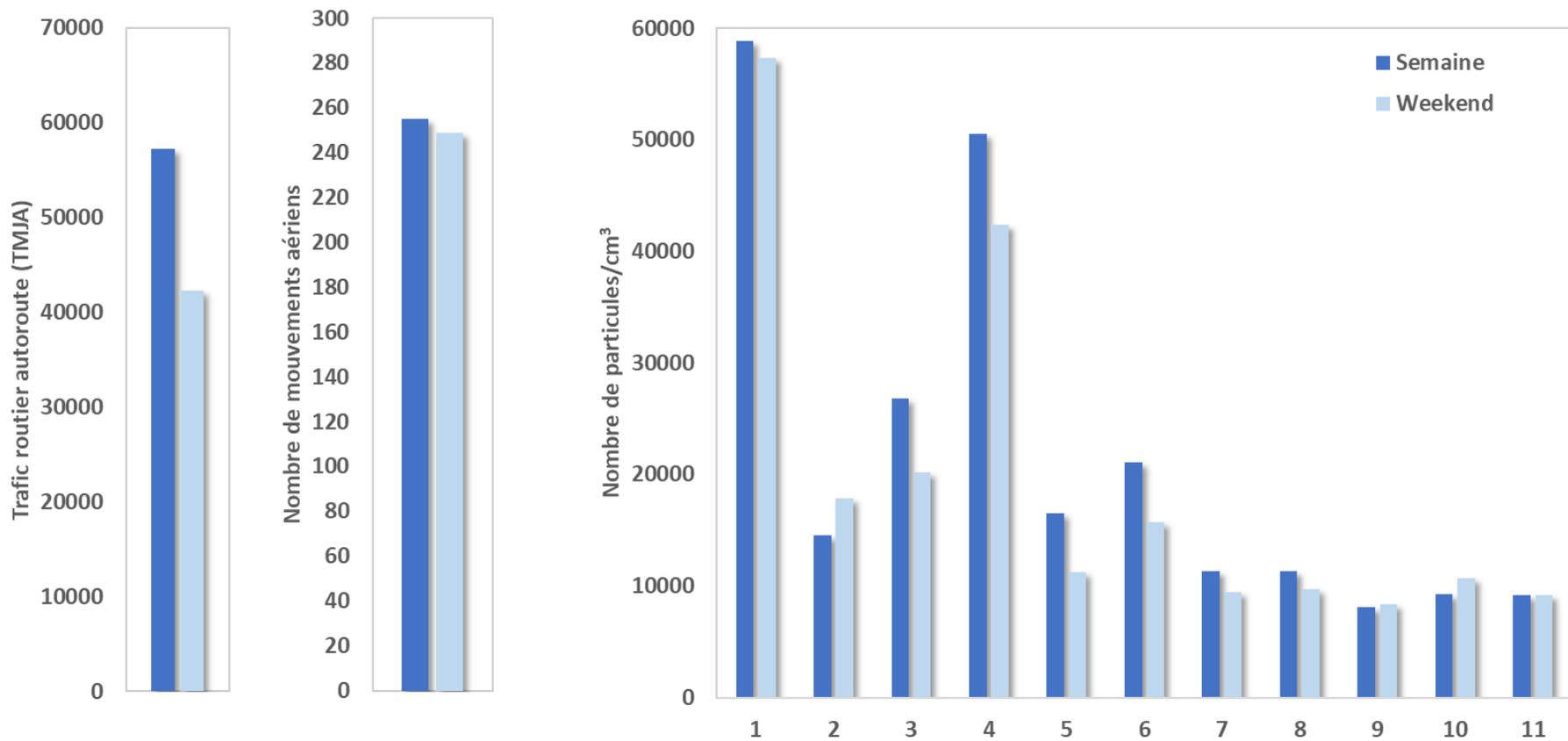


Figure 21 : Comparaison semaine/weekend du trafic routier, des mouvements aériens et du nombre de particules pour chaque site - NB : TMJA = trafic moyen journalier annuel

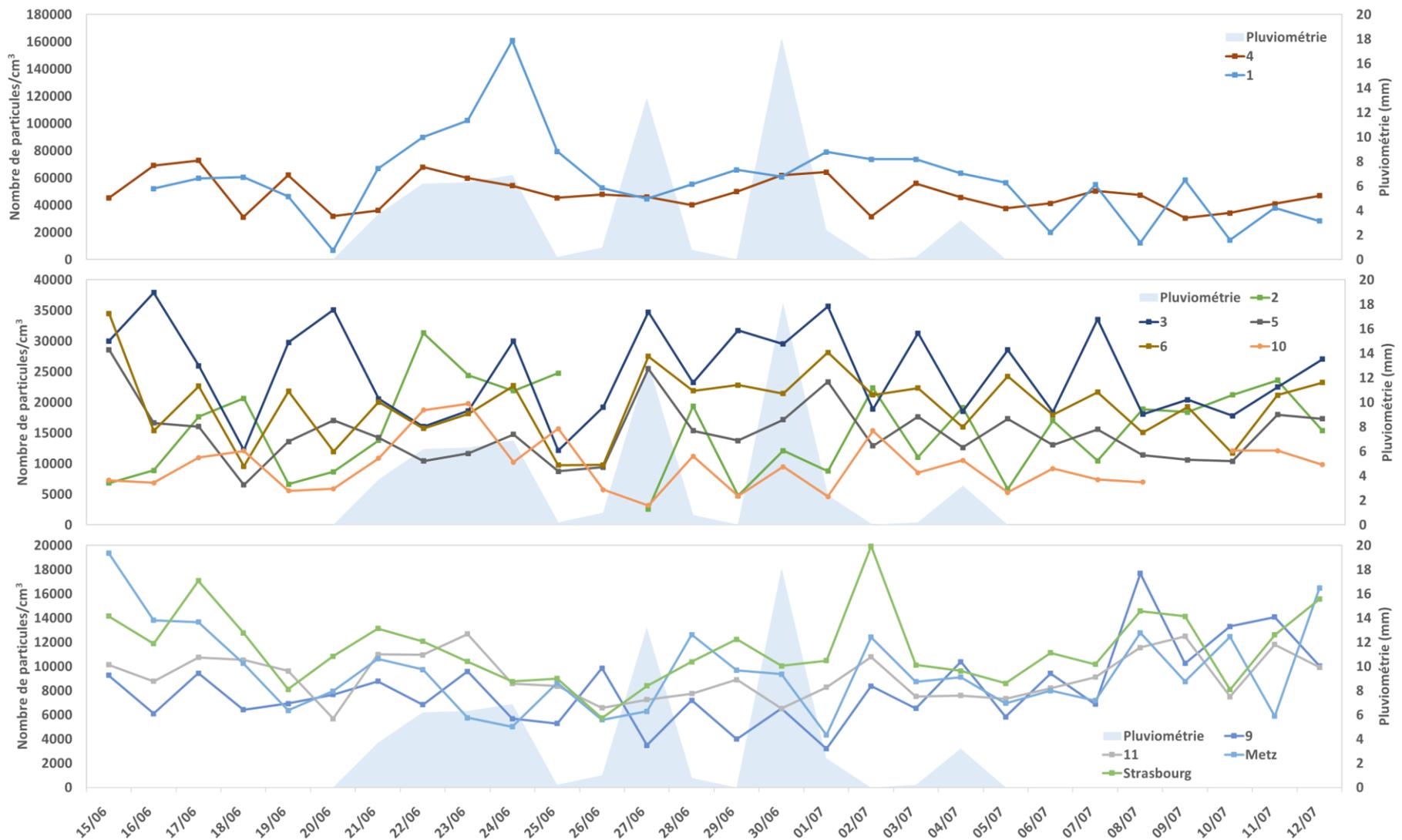


Figure 22 : Séries temporelles de la concentration en nombre de particules et de la pluviométrie (moyennes journalières) pour l'ensemble des sites. Attention, échelles différentes pour le nombre de particules selon les graphiques.

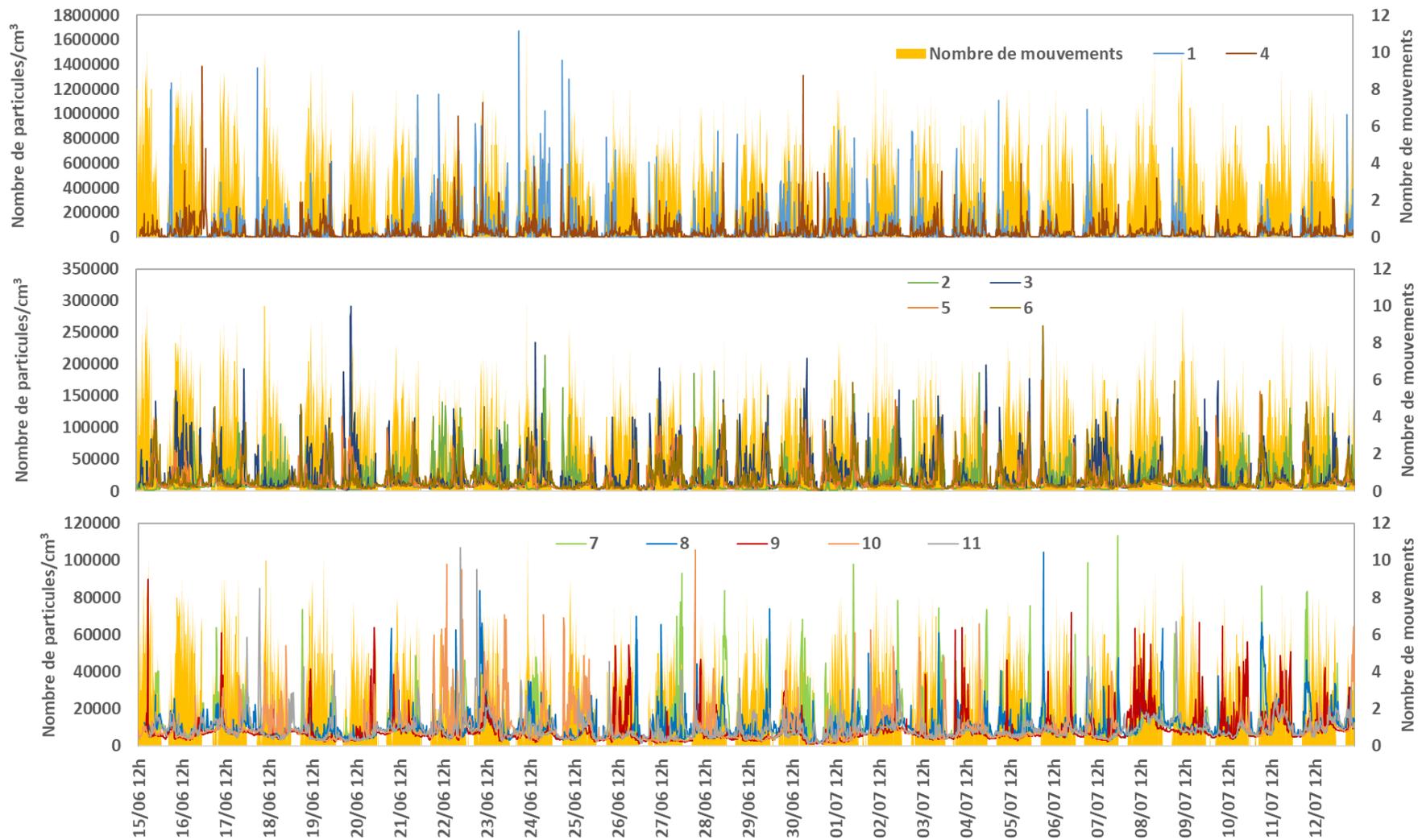
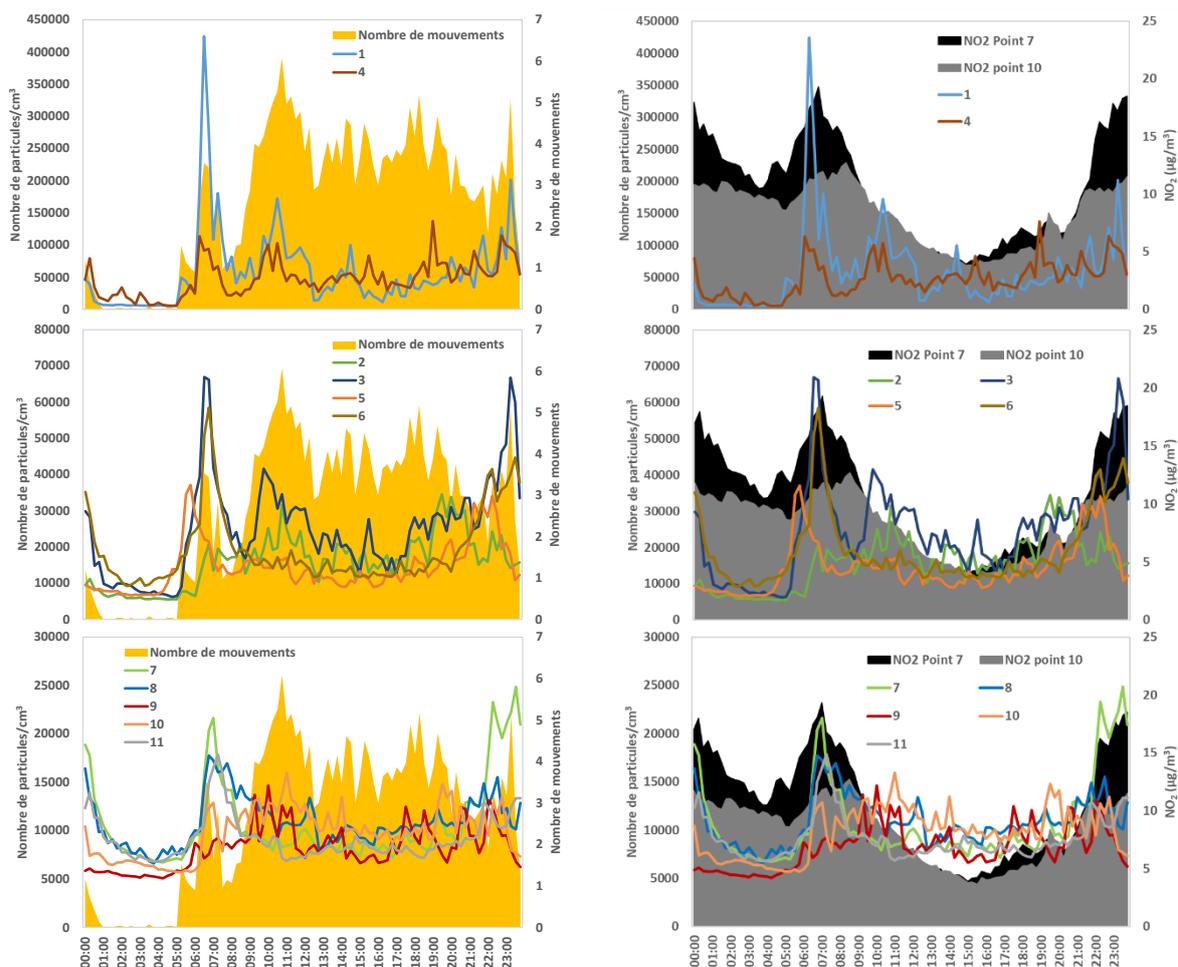


Figure 23 : Séries temporelles de la concentration en nombre de particules (moyennes ¼ horaires) pour l'ensemble des sites. Attention, échelles différentes pour le nombre de particules selon les graphiques.

3.2.5. Etude des profils journaliers

Les profils moyens journaliers de la concentration en nombre sont comparés à ceux des mouvements aériens et de la concentration en oxyde d'azote issue de la campagne réglementaire pour les points 7 et 10 (Figure 24). Les échelles de la concentration en nombre varient selon le graphique pour plus de clarté.

Ces données mettent en évidence que les points situés sur la plateforme aéroportuaire sont impactés de manière plus ou moins marquée selon la période de la journée par le trafic aérien. Le pic matinal (6h du matin heure locale) impacte fortement les concentrations notamment pour le point sur la piste (point 1). Les autres périodes de la journée ont moins d'influence sur les niveaux mesurés mais un impact est toutefois observé à d'autres périodes (entre 10 et 12h pour les sites 1, 3 et 4 notamment). L'impact de l'aéroport est moins notable sur les sites urbains (7 à 11), le pic le plus important est observé pour le point 7 qui semble à la fois être impacté par le trafic aérien mais également par le trafic routier (pic plus large commun au nombre de mouvements et au NO₂). Les variations diurnes du NO₂ mettent en évidence un profil typique avec deux maxima le matin et le soir correspondant au trajet domicile/travail et des niveaux la nuit plus élevés qu'en journée compte tenu de la dispersion moins forte la nuit. Le point 5 présente un pic plus tôt pouvant être associé à du transport routier lié au trafic des passagers sur le parking. Pour l'ensemble des sites, les pics les plus marqués apparaissent notamment le matin par rapport à la journée malgré un nombre de mouvements d'avion moins important que l'après-midi : ce phénomène peut notamment s'expliquer par les conditions atmosphériques plus stables qui deviennent plus dispersives en milieu de journée et sont donc moins favorables à l'accumulation de particules.



La Figure 25 représente les profils journaliers du diamètre moyen. La variation est moins marquée que pour la concentration en nombre. Toutefois, le diamètre moyen atteint son minimum pour les pics de concentration en nombre de particules, ce qui est cohérent puisque les particules les plus fines sont les plus nombreuses. Pour les différents sites, les diamètres minimums sont proches de 10 nm autant ceux influencés par l'aéroport que pour le trafic routier.

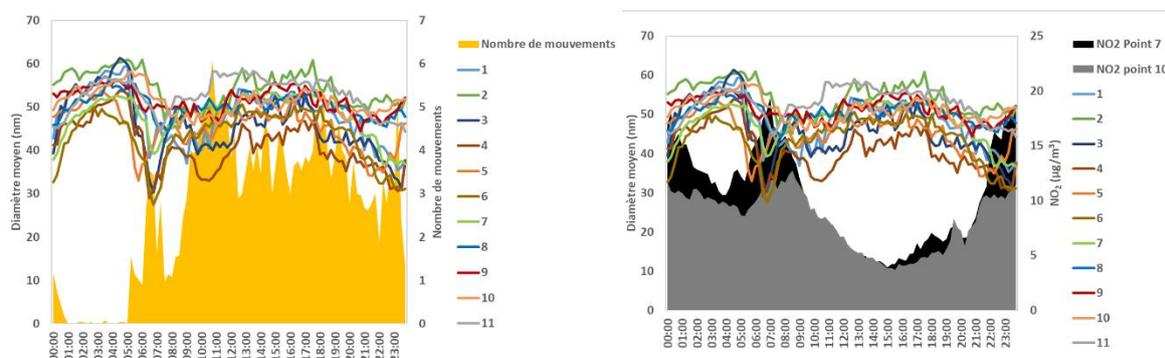


Figure 25 : Profil moyen journalier du diamètre moyen des particules et du nombre de mouvements (à gauche) et de la concentration en NO₂ (à droite) pour chaque site

3.2.6. Influence du vent

Les diagrammes polaires permettent de représenter les concentrations d'un polluant en fonction des directions et des vitesses de vent. Pour chaque point de mesure, ces diagrammes ont été construits à partir des données météorologiques disponibles les plus proches afin de représenter au mieux la dynamique locale à proximité du point de mesure.

Pour chaque site, les concentrations les plus élevées sont observées pour des vents venant :

- Du sud/sud-est pour les points situés sur la piste (n°1 et 2) et du sud-est/est pour le site de Blotzheim (n°10) comme mis en évidence dans la Figure 26. Ces directions de vent semblent pointer l'activité de la plateforme aéroportuaire située à l'est.
- De l'ouest pour les sites de mesures sur le tarmac (n°3 et n°4) ainsi que pour les sites situés à l'est de la plateforme : point au niveau du parking (5), point autoroute (6) et site à Saint Louis (7) montrés sur la Figure 27. Cette direction de vent met donc en évidence l'influence des passages des avions (mouvements, pistes) sur les points situés sur le tarmac mais également l'influence de la plateforme pour les vitesses de vent plus élevées sur les points autoroute et à Saint Louis. Ces deux derniers points (6 et 7) présentent également des niveaux élevés pour des vitesses de vent faibles indiquant la possibilité d'une influence locale qui peut être associée à l'autoroute.
- Du sud pour le site à Bartenheim la chaussée au nord de la plateforme (n°11) et des vents venant du nord à Héringue au sud de la plateforme (n°9). L'influence de la plateforme aéroportuaire est mise en évidence notamment pour le point 9 tandis que des sources supplémentaires plus locales semblent également être présentes pour le point 11. Pour le point au sud-est à proximité de la gare (n°8) le diagramme polaire pointe une source située à l'ouest qui peut être associée aux mouvements d'avion et/ou à d'autres sources (gare, trafic routier...).

Même pour les points situés à plus grande distance de l'aéroport, les diagrammes polaires semblent tous indiquer une influence plus ou moins marquée de la plateforme pour les concentrations les plus élevées.

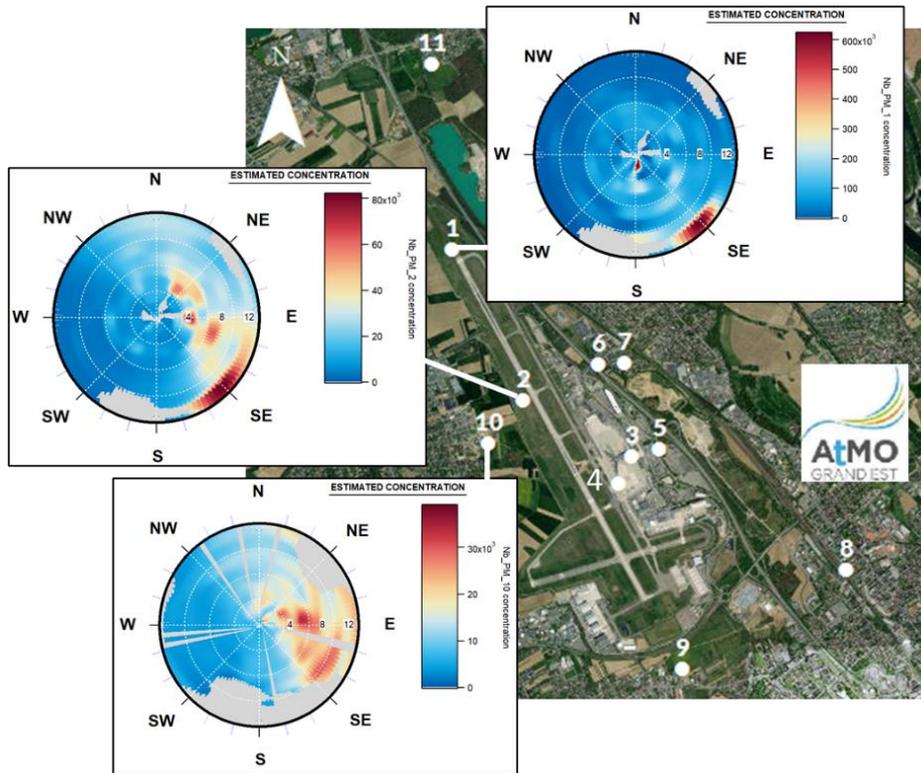


Figure 26 : Cartographie des diagrammes polaires des points 1, 2 et 10

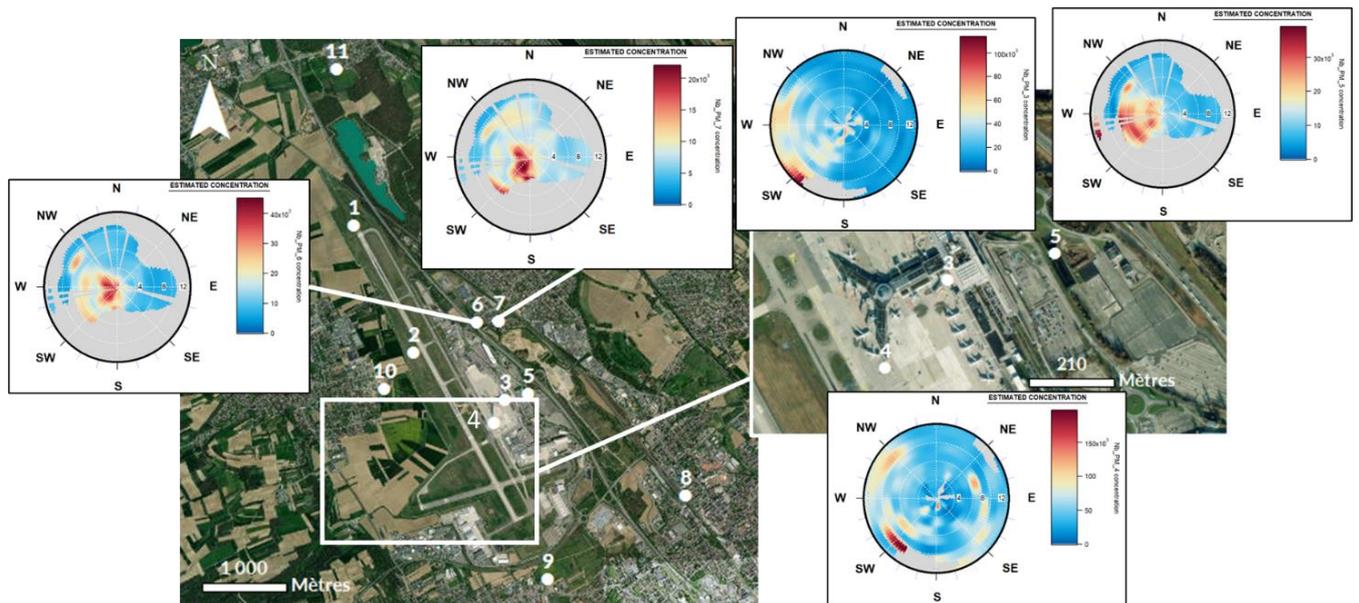


Figure 27 : Cartographie des diagrammes polaires des points 3, 4, 5, 6 et 7

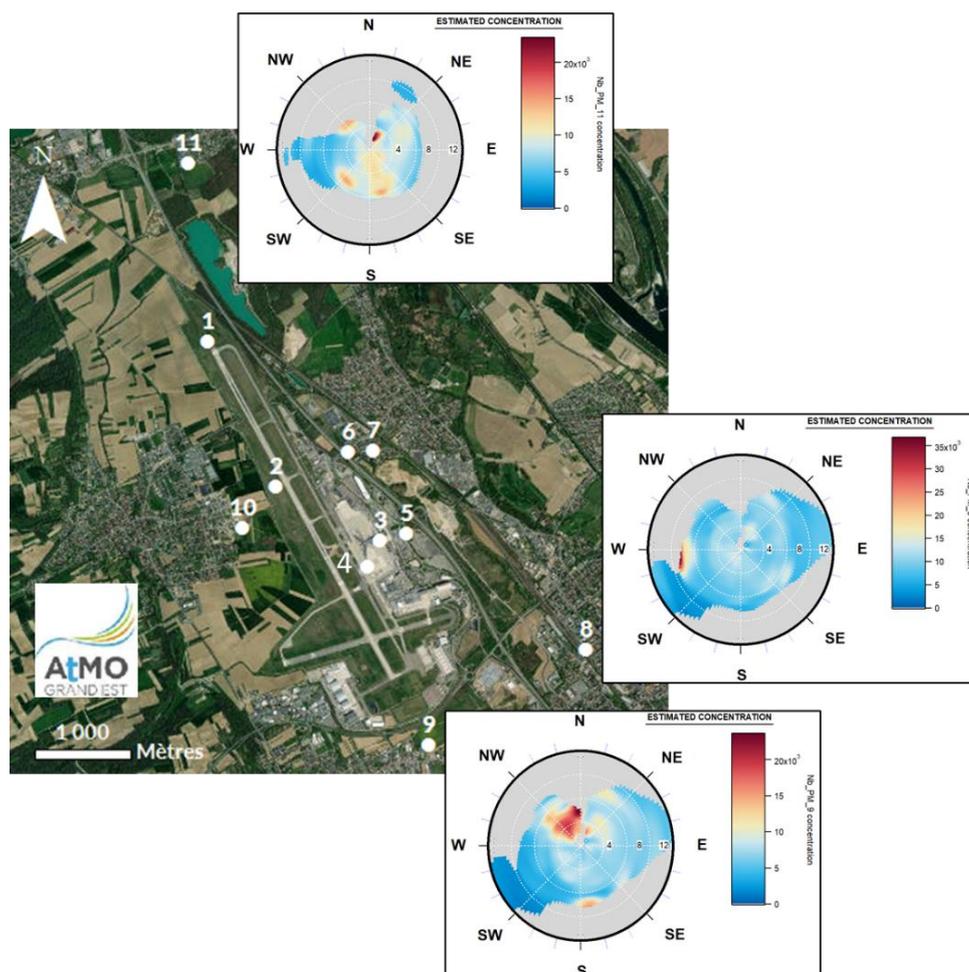


Figure 28 : Cartographie des diagrammes polaires des points 8, 9 et 11

L'étude des moyennes de la concentration en nombre par direction de vent pour chaque site confirme l'influence du vent sur les niveaux mesurés observée avec les diagrammes polaires. La concentration moyenne du nombre de particules en fonction de la direction de vent est identifiée pour chaque site (Figure 29). Le site des données de vents utilisé est également précisé sur le graphique.

Les points de mesures situés à proximité de la piste principale (1 et 2) présentent les concentrations de PUF les plus élevées pour vents de sud-est pointant l'influence des activités aéroportuaires. Le point de mesure situé à Bartenheim-la-Chaussée au nord de la plateforme aéroportuaire (11) ne présente qu'une faible hausse pour les directions de vent provenant du sud ce qui met en évidence un impact limité de la plateforme sur l'agglomération pouvant être associé à la distance du point de mesure.

Les points situés sur le tarmac (3 et 4) sont nettement influencés par le trafic aérien sur la plateforme car les niveaux les plus élevés apparaissent pour des vents d'ouest pointant l'arrivée/le départ des avions vers les pistes.

Les points de mesure situés à l'est de la plateforme (point parking 5, point autoroute 6 et point à Saint Louis 7) présentent des niveaux plus élevés pour des vents venant de l'ouest confirmant l'influence de la plateforme pour les zones sous influence. Ces éléments pointent toutefois une influence moins marquée à mesure qu'on s'éloigne de la plateforme.

Le point de mesure situé à proximité de la gare (8) est associé à des niveaux stables ne témoignant pas d'un impact marqué de la plateforme à cet endroit. Le point 9 à proximité de l'agglomération d'Hésingue est associé à des niveaux nettement plus élevés pour les vents venant du nord étant sous l'influence des activités de de la plateforme aéroportuaire.

Le point de mesure situé à l'ouest dans l'agglomération de Blotzheim (10) présente des niveaux plus élevés pour les vents venant de l'est, pouvant indiquer l'influence de la plateforme sur les niveaux mesurés.

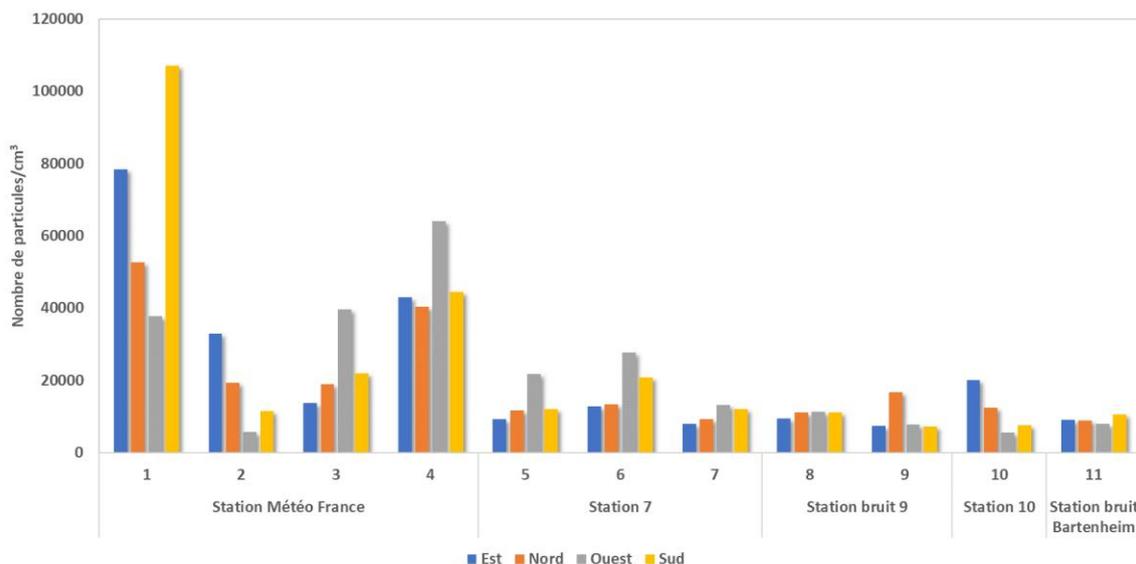


Figure 29 : Moyenne de la concentration en nombre par direction de vent pour chaque site

3.3. LIMITES DE LA CAMPAGNE

Les exploitations réalisées dans ce document sont représentatives de la période de mesure (été 2022) et ne peuvent être élargies à l'année ou à une autre période. En effet, les polluants atmosphériques sont dépendants des émissions et des conditions météorologiques et atmosphériques qui peuvent modifier les niveaux mesurés. Ce phénomène est particulièrement important pour les particules ultrafines dont la variabilité temporelle et spatiale est importante. Toutefois, ces données sont une base solide d'étude des particules ultrafines à proximité de l'aéroport de Bâle-Mulhouse et sont associées à une période de fort trafic aérien.

De plus il est important de noter que cette étude est limitée à une investigation concernant un des maillons du cycle de la pollution de l'air, celui de la qualité de l'air. Il s'agit ici d'une étude exploratoire pour laquelle aucune réglementation (valeurs limites ou objectifs) n'est disponible actuellement et ayant pour objectif une caractérisation spatiale des particules ultrafines.

CONCLUSION

Dans le cadre du suivi de la qualité de l'air sur et autour de sa plateforme aéroportuaire, l'aéroport de Bâle-Mulhouse a souhaité mettre en place une campagne de mesure des particules ultrafines (PUF), bien que ce polluant ne soit pas encore réglementé. Cette campagne de mesure exploratoire répond aux préconisations de l'autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA). De plus, elle est en cohérence avec l'observatoire régional des particules ultrafines mis en place par ATMO Grand Est depuis 2019.

Cette campagne de mesure est basée sur le suivi en temps réel de la concentration en nombre et du diamètre moyen effectué à l'aide de l'instrument de mesure Partector 2. Elle s'est déroulée pendant 1 mois du 15 juin au 13 juillet 2022 afin de se placer dans les conditions de trafic aérien élevées. 11 sites répartis sur et autour de la plateforme aéroportuaire ont permis de caractériser les variations spatiales et temporelles sur la plateforme mais également sur les zones urbaines dans l'environnement proche.

Pour vérifier la qualité des mesures des capteurs Partector 2 :

- Une comparaison à l'analyseur de référence pour la mesure de la concentration en nombre (CPC) a été réalisée pendant 4 mois sur un site urbain de la région. Les résultats obtenus mettent en évidence des corrélations fortes entre les deux Partector 2 testés et le CPC.
- Deux campagnes d'intercomparaison entre les 11 instruments ont également été mises en œuvre au début et à la fin de la campagne. Les résultats ont confirmé la reproductibilité et la comparaison des instruments entre eux tant en termes de concentration en nombre que pour le diamètre moyen (excepté un analyseur qui présentait une déviation en fin de campagne pour le diamètre moyen). Les bonnes corrélations entre les systèmes capteurs confirment la qualité des données pour la campagne.

L'exploitation des mesures de la campagne a mis en évidence les éléments suivants :

- Les concentrations en nombre moyennes sont comprises entre 16 000 et 60 000 particules/cm³ pour les sites aéroportuaires, égales à 20 000 particules/cm³ pour le site autoroute et entre 8 000 et 11 000 particules/cm³ pour les autres sites urbains. Ces niveaux sont cohérents avec ceux déjà mesurés dans d'autres études sous l'influence d'un aéroport qui ont des niveaux 2 à 10 fois plus élevés que les sites urbains de fond. Pour l'étude des diamètres moyens, les différences sont moins marquées entre site en lien avec le principe de mesure notamment.
- La comparaison des sites urbains à d'autres sites urbains de la région pendant la même période met en évidence des moyennes du même ordre de grandeur. Cependant, l'étude des paramètres statistiques et notamment des maximums démontre l'influence de l'aéroport car les maximums observés sur les sites urbains à proximité de l'aéroport sont 1,4 à 2,3 fois plus élevés que ceux des sites urbains éloignés. Ces données semblent illustrer un impact local ponctuel de l'aéroport sur l'ensemble des zones environnantes en fonction du vent.
- L'aéroport présente des variabilités spatiales avec deux zones identifiées comme étant plus chargées en PUF. Le point de mesure en bout de piste principale (point 1) et le point de mesure sur le tarmac à proximité des pistes (point 4). Ces éléments démontrent l'influence du vent sur les niveaux mesurés mais également de l'activité sur site avec un impact plus important des avions en roulage, des phases décollage/atterrissage par rapport aux autres systèmes au sol.

- L'étude couplée des mesures de polluants et de trafic aérien met en évidence une influence du nombre de mouvements sur la concentration en nombre. Toutefois, cette influence varie au cours de la journée en lien avec les conditions atmosphériques mais également avec l'influence du vent et n'explique pas à elle seule l'ensemble des variations.
- Les diagrammes polaires et l'étude des directions de vent ont démontré l'influence majeure du vent provenant de l'aéroport sur les concentrations mesurées. La majorité des sites pointe la direction de l'aéroport pour les concentrations en nombre maximales mettant en évidence son impact, notamment pour le point de mesure à Saint-Louis (7). Toutefois, un impact du trafic routier a également été mis en évidence confirmant la multiplicité des sources de PUF dans la zone.

Cette campagne exploratoire a permis de mettre en évidence des situations contrastées sur la plateforme aéroportuaire en lien avec l'influence du vent et des activités au sol. De plus, une influence de l'aéroport sur les zones urbaines environnantes apparaît ponctuellement et est associée aux niveaux de PUF les plus élevés mesurés sur ces sites.

Des études complémentaires et un suivi temporel pourraient permettre d'approfondir cette première campagne exploratoire et ainsi mieux comprendre l'influence du trafic aérien sur les concentrations de PUF mesurés dans et à proximité de la zone aéroportuaire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Journal Officiel, Prescriptions du 6 octobre 2020 portant sur la gestion de la qualité de l'air par les exploitants aéroportuaires sur et autour des aéroports. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042413963>
- [2] ANSES, « Particules de l'air ambiant extérieur - Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie », 2019.
- [3] Atmo Grand Est, « Rapport bibliographique sur les particules ultrafines (PUF) », 2021. Consulté le: 27 octobre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.atmo-grandest.eu/document/2574>
- [4] N. R. Yacobi et al., « Mechanisms of Alveolar Epithelial Translocation of a Defined Population of Nanoparticles », *Am J Respir Cell Mol Biol*, vol. 42, p. 604-614, 2010, doi: 10.1165/rcmb.2009-0138OC.
- [5] Organisation Mondiale de la Santé (OMS), « Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air - Particules (PM_{2,5} et PM₁₀), ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre et monoxyde de carbone - Résumé d'orientation », 2021.
- [6] Airports Council International, « Ultrafine Particles at Airports - Discussion and assessment of ultrafine particles (UFP) in aviation and at airports in 2012 », 2012. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cph.dk/48da29/globalassets/8.-om-cph/stoj-trafik-og-miljo/rapporter/7_ultrafine-particules-at-airports-aci.pdf
- [7] J. Hofman et al., « Ultrafine particles in four European urban environments: Results from a new continuous long-term monitoring network », *Atmospheric Environment*, vol. 136, p. 68-81, juill. 2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.04.010.
- [8] Airports Council International, « Ultrafines particules at airports - Current understanding of ultrafine particle emissions and concentrations at airports in 2018 », 2018.
- [9] Air Quality Expert Group, « Ultrafine Particles (UFP) in the UK », 2018.
- [10] Autorité de contrôles des nuisances aéroportuaires, « Particules ultrafines et aviation - Etude bibliographique », 2017.
- [11] M. Chatain, R. Alvarez, A. Ustache, E. Rivière, O. Favez, et C. Pallares, « Simultaneous Roadside and Urban Background Measurements of Submicron Aerosol Number Concentration and Size Distribution (in the Range 20–800 nm), along with Chemical Composition in Strasbourg, France », *Atmosphere*, vol. 12, n° 1, Art. n° 1, janv. 2021, doi: 10.3390/atmos12010071.
- [12] L. Morawska, Z. Ristovski, E. R. Jayaratne, D. U. Keogh, et X. Ling, « Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions : Characteristics, ambient processing and implications on human exposure », *Atmospheric Environ.*, vol. 42, p. 8113-8138, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.050>.
- [13] Zurich Airport, « Ultrafine Particle Measurements At Zurich Airport », 2017.
- [14] Zurich Airport, « Ultrafine Particle Concentrations Zurich Approach - Runway 14 ».
- [15] J. Sun et al., « Variability of black carbon mass concentrations, sub-micrometer particle number concentrations and size distributions: results of the German Ultrafine Aerosol Network ranging from city street to High Alpine locations », *Atmospheric Environ.*, vol. 202, p. 256-268, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.029>.
- [16] ADRA et BISF, « Basel-Mulhouse Airport and Air Quality - part III: Immission by ultrafine particles - analysis and determination of the potential hazard to the residents », 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://www.adra-bale-mulhouse.fr/wp-content/uploads/2020/08/ADRA-BISF-Rapport-PUF-III_2020625.pdf
- [17] ATMO Sud, « Analyse des particules ultrafines à l'aéroport de Nice (06) », 2021.
- [18] I. Rivas et al., « Source apportionment of particle number size distribution in urban background and traffic stations in four European cities », *Environment International*, vol. 135, p. 105345, févr. 2020, doi: 10.1016/j.envint.2019.105345.
- [19] AtmoSud, « Plan de surveillance des particules dans la région PACA, PUF Bilan des mesures 2016 », 2017.
- [20] AtmoSud, « Plan de surveillance des particules dans la région PACA, PUF Bilan des mesures 2017 », 2018.

ANNEXE 1

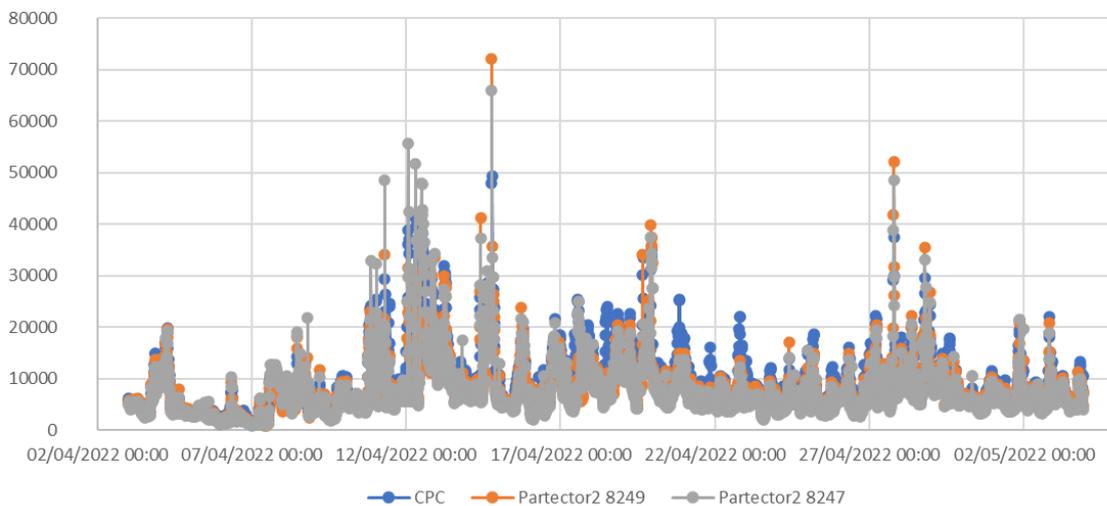
Caractéristiques techniques du Partector 2 ([Site internet](#))

Paramètre	Caractéristique du Partector 2
Principe de mesure	Détection électrique des particules
Gammes de taille	10-300 nm
Gamme de concentration	Nombre de particules : 0-10 ⁶ particules/cm ³
Précision	± 30%
Résolution temporelle	1 seconde
Dimensions	88 * 142 * 34 mm
Poids	415 grammes
Alimentation	Batterie, secteur ou panneaux solaires

ANNEXE 2

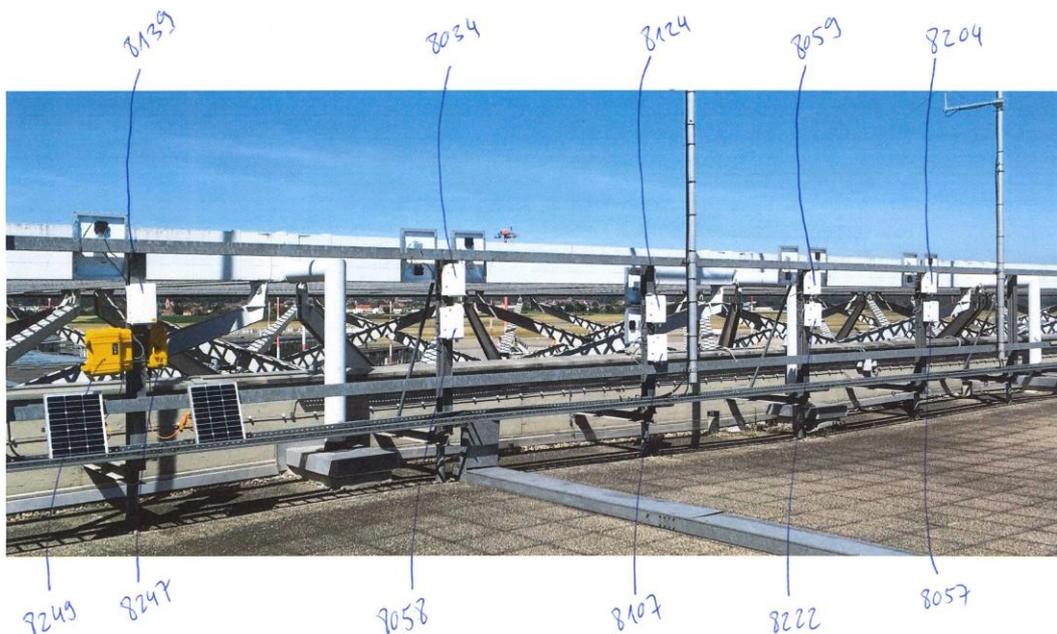
Série temporelle de la concentration en nombre totale de particules sur la période de comparaison des Partector 2 et de l'analyseur de référence (CPC)

Nombre de particules par cm³ en moyenne 1/4h - comparaison Partector2/CPC

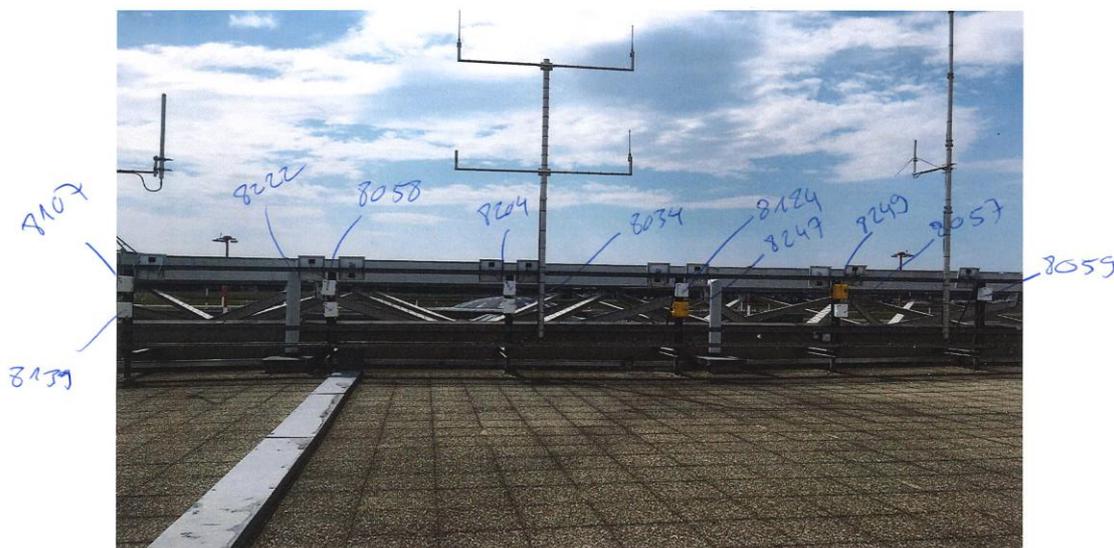


ANNEXE 3

Localisation des Partector 2 sur le toit de l'aérogare : comparaison intra-technique avant campagne

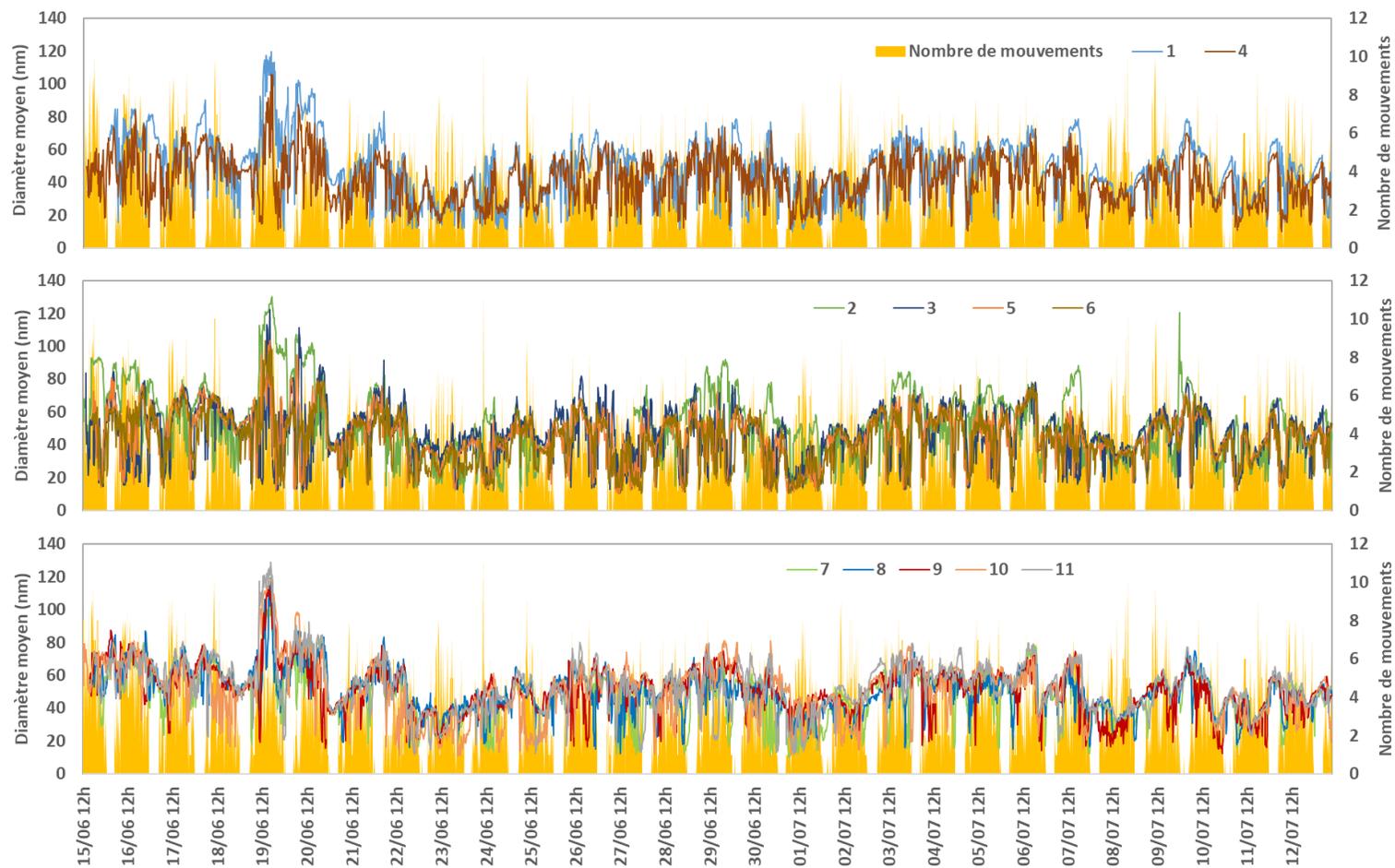


Localisation des Partector 2 sur le toit de l'aérogare : comparaison intra-technique après campagne



ANNEXE 4

Séries temporelles du diamètre moyen des particules (moyennes ¼ horaires) pour l'ensemble des sites





AtMO

GRAND EST

Metz - Nancy - Reims - Strasbourg

Air • Climat • Energie • Santé

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73 – contact@atmo-grandest.eu

Siret 822 734 307 000 17 – APE 7120 B

Association agréée de surveillance de la qualité de l'air