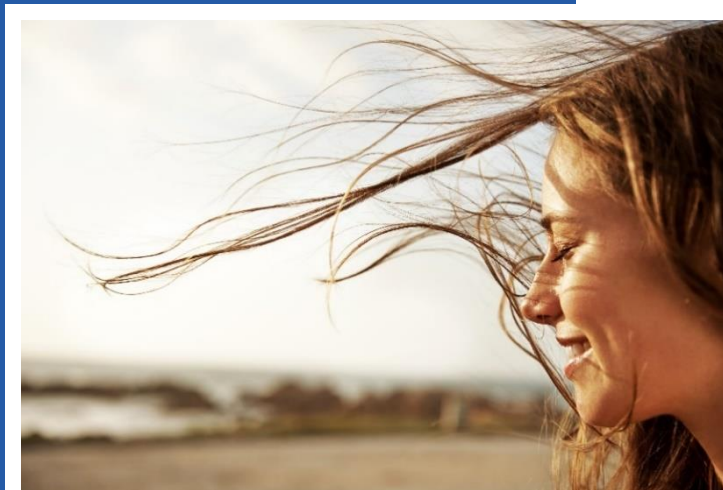




 Florence, Péron
 Ingénieur d'études
 04 93 18 36 14
 florence.peron@atmosud.org
 [Consulter le site AtmoSud](#)

NOTE TECHNIQUE

COMPARAISON DES PUF A L'AEROPORT DE NICE

11/07/2025

SOMMAIRE

1	De la mesure en masse des particules PM10 à la mesure en nombre des PUF	2
2	Donnees et prncipales Statistiques	3
3	Analyse des concentrations moyenne et maximale	4
3.1	Des niveaux moyen et maximal inférieurs dans l'intervalle [10nm-1µm]	4
3.2	Un écart de concentration variable au cours de la journée	5
4	L'influence des vents sur les niveaux de PUF	6
4.1	Distribution des vents sur l'aéroport de Nice	6
4.2	Les sources de particules PUF situées majoritairement à l'Est.....	8
5	Analyses granulométriques	9
5.1	Un diamètre moyen autour de 14 nm, quelle que soit la limite inférieure	9
5.2	Une moyenne très influencée par les valeurs maximales et les périodes de mesure	10
6	Conclusion	11

1 DE LA MESURE EN MASSE DES PARTICULES PM₁₀ A LA MESURE EN NOMBRE DES PUF

Le transport aérien suscite de nombreuses questions quant à son impact sur la qualité de l'air, mais à ce jour aucun traceur spécifique de l'activité aéroportuaire n'a été identifié. Depuis une trentaine d'années, AtmoSud, en collaboration avec la SAACA¹, surveille l'état de la qualité de l'air sur et autour de la plateforme de Nice, par des études ponctuelles et un suivi permanent via la station fixe de l'aéroport.

Cependant, la surveillance des polluants dits classiques que sont les oxydes d'azote, les particules PM₁₀ (inférieure à 10 µm) et PM_{2,5} (inférieure à 2,5 µm) ne répond pas totalement à la problématique en raison de la multiplicité de sources communes à proximité des plateformes aéroportuaires. Les résultats des oxydes d'azote montrent, en effet, une prédominance du secteur routier rendant difficile la distinction de la part « avion » sur ce polluant. Ainsi, au fil des années, la surveillance s'est orientée davantage vers les particules de plus en plus fines (PM₁₀, puis PM_{2,5}) jusqu'à s'intéresser aux PUF, Particules Ultra-Fines, inférieures à 0,1 µm (Figure 1).

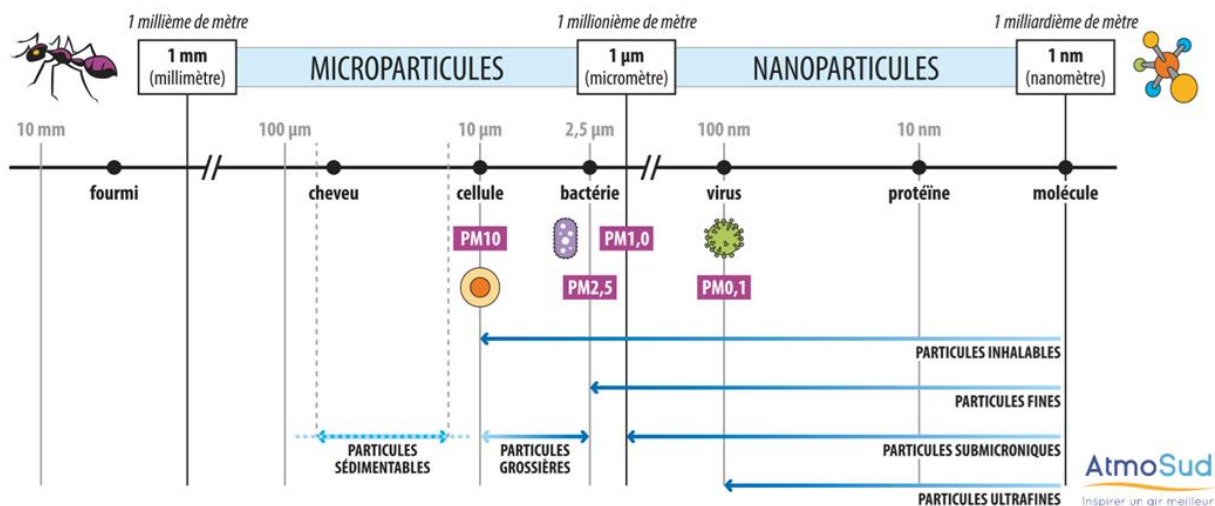


Figure 1 : Classification des particules fines par leur diamètre aérodynamique

Ainsi, en 2020, AtmoSud et la SAACA lancent la première campagne exploratoire sur les PUF à l'aéroport de Nice. Du 1^{er} janvier au 16 octobre, le nombre de particules de taille comprise entre 7 nm et 5 µm est mesuré en continu à la station de l'aéroport. La survenue de la crise sanitaire, le confinement décrété du 17 mars au 10 mai, et la baisse d'activité (-91 % des vols) associée ont perturbé la campagne. Cela a confirmé que la mesure en masse des particules n'était pas concluante pour tracer l'activité aéroportuaire et a révélé tout l'intérêt de la mesure en nombre des PUF, qui est basée sur la définition d'un intervalle de taille.

Avant 2023, en absence de normalisation, le nombre des PUF a été évalué dans différents intervalles². En 2023, l'intervalle [10 nm – 1 µm] a été choisi comme référence à l'échelle européenne³. La réduction de la limite supérieure n'a pas d'incidence sur les concentrations en nombre, car le nombre de particules supérieures à 1 µm est quasi nul⁴. En revanche, pour la limite inférieure, le nombre de particules variant davantage, des comparaisons sont nécessaires pour déterminer l'influence de la modification de l'intervalle.

La présente note expose les résultats d'une étude comparative des deux intervalles de taille (7 nm-1 µm et 10 nm-1 µm) réalisée à l'aéroport de Nice d'avril à juin 2024. Cette analyse est essentielle dans le domaine aéroportuaire, où les publications scientifiques s'accordent, dans leur grande majorité, pour attribuer une taille comprise entre 10 et 20 nm, aux particules issues des aéronefs, ce qui en fait un traceur potentiellement robuste de l'activité aéroportuaire.

¹ Société Anonyme des Aéroports de la Côte d'Azur, gestionnaire de la plateforme de Nice et adhérent à AtmoSud depuis le début des années 1990

² [7 nm - 5 µm], [7 nm - 2,5 µm], [7 nm - 1 µm]

³ Directive 2024/2881 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 octobre 2024 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

⁴ AtmoSud (2018). Plan de surveillance des particules dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur – granulométrie particules ultra fines. Bilan des mesures 2017 et bilan particule 2018 à Marseille et Port-de-Bouc. [Mesures granulometrie bilan 2017 vf.pdf](#) et [200124 bilan pm 2018 atmosud.pdf](#)

2 DONNEES ET PRINCIPALES STATISTIQUES

Les deux appareils mesurent en parallèle du 10 avril 14h15 au 10 juin 13h45 sur les deux intervalles.

Les deux intervalles de taille indiquent une très bonne corrélation des mesures (Tableau 1 et Figure 2).

Une valeur atypique est cependant observée sur la concentration maximale dans l'intervalle [7 nm-2.5 µm] le 22 avril à 11h30 (Figure 2), avec 264 580 particules/cm³. Au même moment, la concentration dans l'intervalle [10 nm-1 µm] est de 142 890 particules /cm³ soit environ 50% inférieure.

Tableau 1 : statistiques des mesures quart-horaires réalisées du 10 avril au 10 juin 2024

	Intervalle [7 nm- 2.5 µm]	Intervalle [10 nm- 1 µm]
Taux de fonctionnement	95 %	100 %
Moyenne (particules/cm ³)	25 225	20 691
Maximum (particules/cm ³)	264 580	151 400
Date du maximum	22 avril 11h30	16 avril 15h45

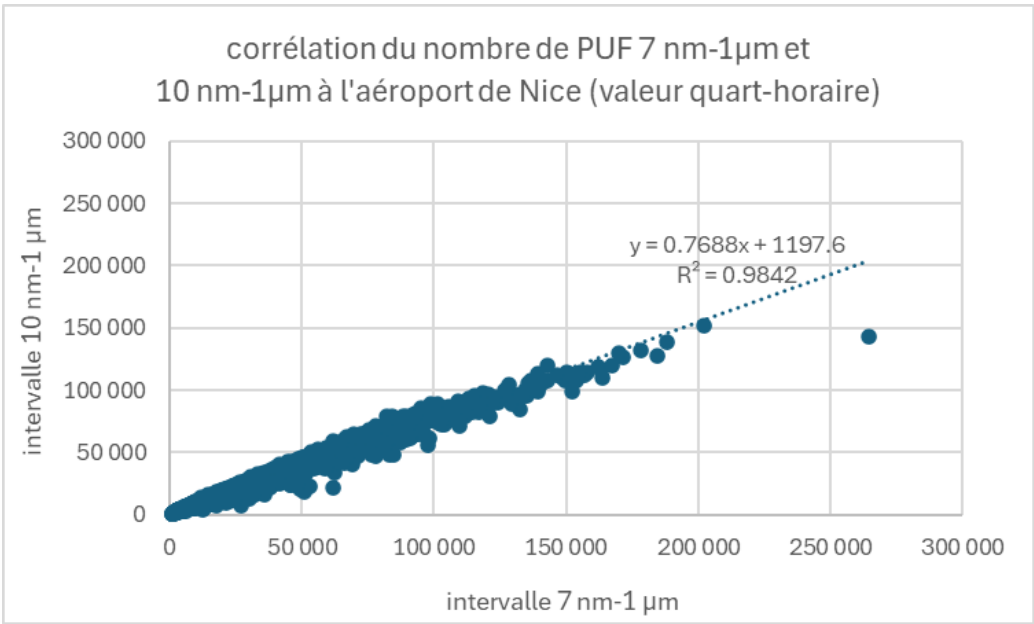


Figure 2 : Corrélation de nombre de PUF des deux intervalles (7nm-1µm et 10nm-1µm) à l'aéroport de Nice du 10 avril au 10 juin 2024

3 ANALYSE DES CONCENTRATIONS MOYENNE ET MAXIMALE

3.1 Des niveaux moyens et maximaux inférieurs dans l'intervalle [10 nm-1 µm]

Que ce soit en valeurs quart-horaires ou horaires, les niveaux mesurés dans l'intervalle [10 nm-1 µm] sont inférieurs à ceux de l'intervalle [7 nm-2.5 µm] (Figure 3). La différence moyenne est estimée à 18 %.

Pour les concentrations les plus fortes, la différence est plus importante, notamment lorsque le nombre de particules dépasse 100 000 particules/cm³.

Pour toutes les valeurs supérieures à 100 000 particules/cm³ de l'intervalle [7 nm-2.5 µm], les concentrations mesurées dans l'intervalle [10 nm-1 µm] sont inférieures d'environ 25% en moyenne.

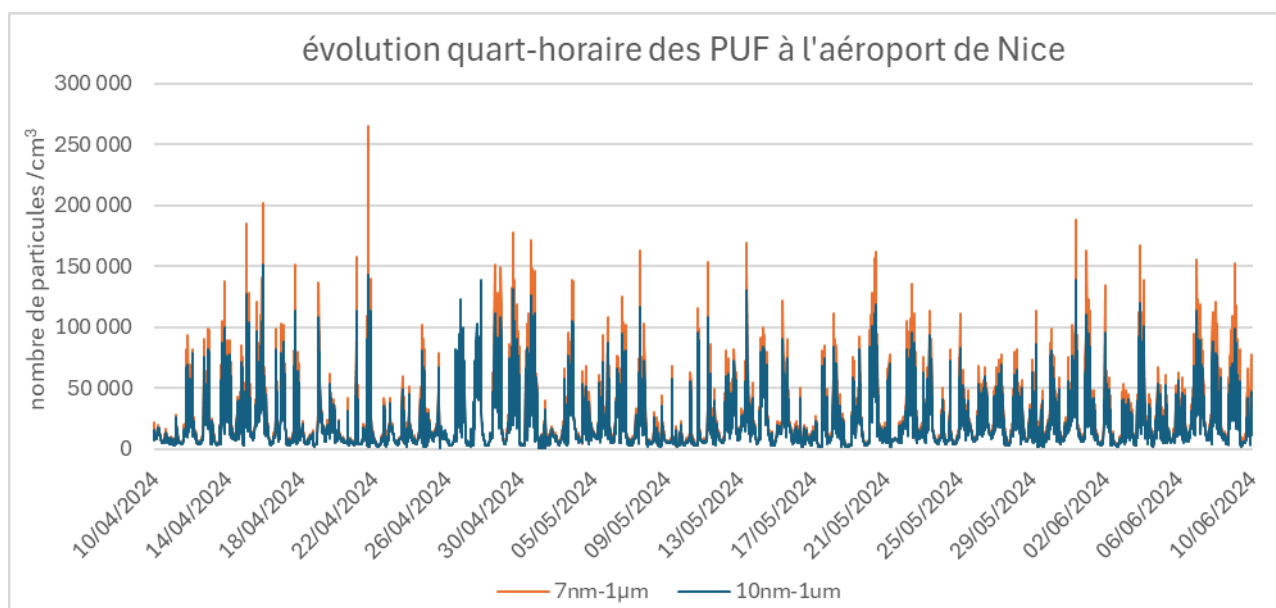


Figure 3 : Evolution quart-horaire des PUF à l'aéroport de Nice du 10 avril au 10 juin 2024

3.2 Un écart de concentration variable au cours de la journée

Les concentrations dans l'intervalle [10nm-1µm] sont inférieures en moyenne de 4 428 particules/cm³ à celles de l'intervalle [7 nm-2.5 µm], en raison de la non-comptabilisation des particules comprises entre 7 nm et 10 nm.

Cependant, cet écart entre les deux intervalles n'est pas constant (Figure 4). Il peut atteindre jusqu'à 121 660 particules/cm³ comme le 22 avril à 11h30. Il apparaît ainsi, à cette date, un apport supplémentaire de PUF de taille 7-10 nm, dont la source n'est pas identifiée.

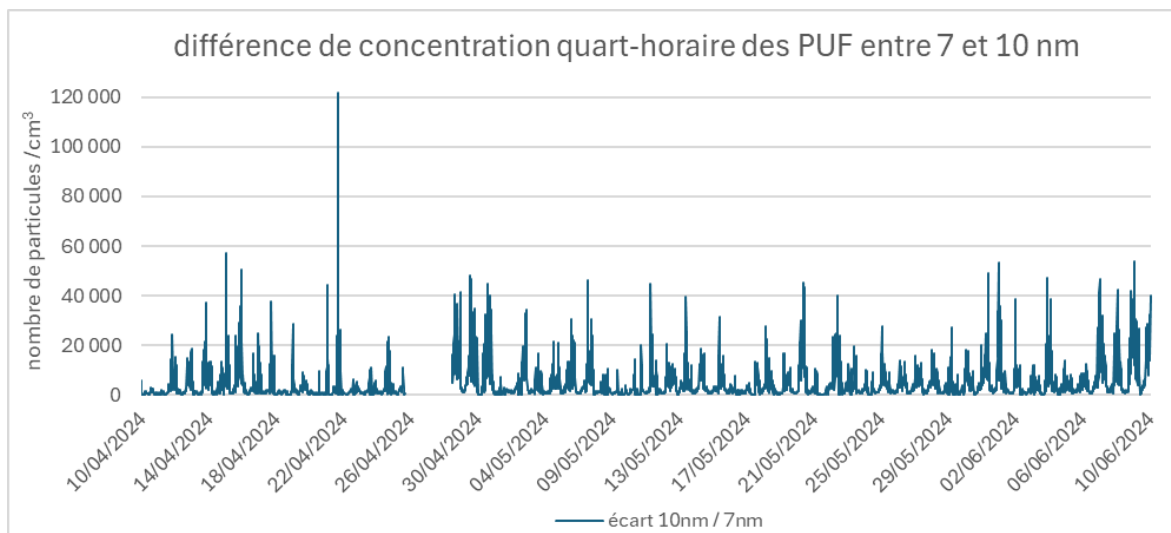


Figure 4 : Evolution de la différence des deux intervalles de mesure des PUF à l'aéroport de Nice du 10 avril au 10 juin 2024

Le profil moyen journalier confirme la variation de l'écart au cours de la journée, en lien avec les mouvements des avions selon les plages horaires, ou la direction des vents (Figure 5).

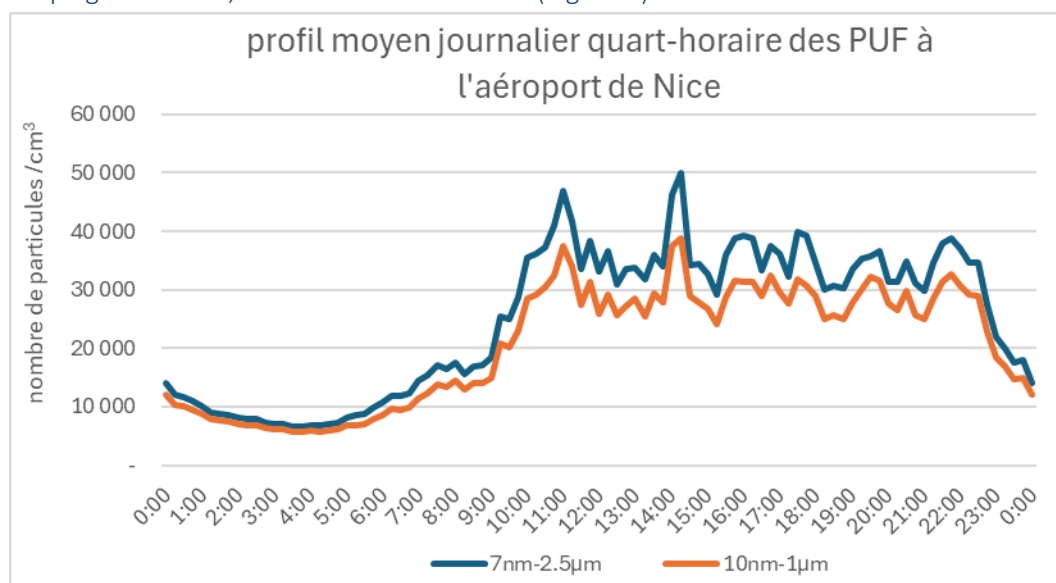


Figure 5 : Profil moyen journalier quart-horaire des PUF à l'aéroport de Nice du 10 avril au 10 juin 2024, selon l'intervalle de taille

Sur la période du 10 avril au 10 juin 2024, la mesure simultanée montre une réduction du nombre de PUF dans l'intervalle [10nm-1µm] par rapport à l'intervalle [7 nm-2.5 µm], de l'ordre de :

- 18 % sur les niveaux moyens ;
- 25 % au moment des pics de fortes concentrations (> 100 000 particules/cm³) dans l'intervalle.

Cela s'explique par la non prise en compte des particules de diamètre compris entre 7 nm et 10 nm. Cet écart entre les deux intervalles n'est pas constant, il évolue en effet selon les heures de la journée et en fonction des sources d'émissions des PUF.

4 L'INFLUENCE DES VENTS SUR LES NIVEAUX DE PUF

4.1 Distribution des vents sur l'aéroport de Nice

La rose des vents à l'aéroport de Nice durant la campagne met en évidence trois directions de provenance dominantes : Nord-Nord-Ouest, Est et Sud. Les vents d'Est sont les plus forts et ceux du Nord-Nord-Ouest sont les plus faibles (Figure 6).

La station, située à l'Ouest de la plateforme aéroportuaire, est donc située sous les vents des pistes par vents d'Est.

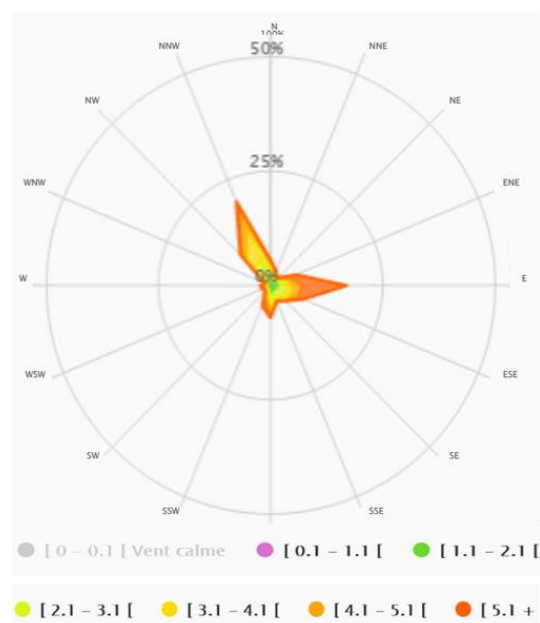


Figure 6 : Rose des vents à l'aéroport de Nice du 10 avril au 10 juin 2024

Selon les heures de la journée, les directions de vent fluctuent (Figure 7)

De secteur Nord-Nord-Ouest la nuit (21h-7h), ils proviennent essentiellement de l'Est et du Sud en journée (8h-20h), en fonction des brises thermiques, avec des bascules de direction entre 7h et 8h et entre 20h et 21h.

A ces heures, la faible intensité du vent peut conduire à une augmentation des niveaux de polluants atmosphériques, dont les PUF, en raison d'une plus faible dispersion.

Cette hausse dépend également de l'intensité des sources d'émission et donc de la quantité de polluants émis par les mouvements des aéronefs.

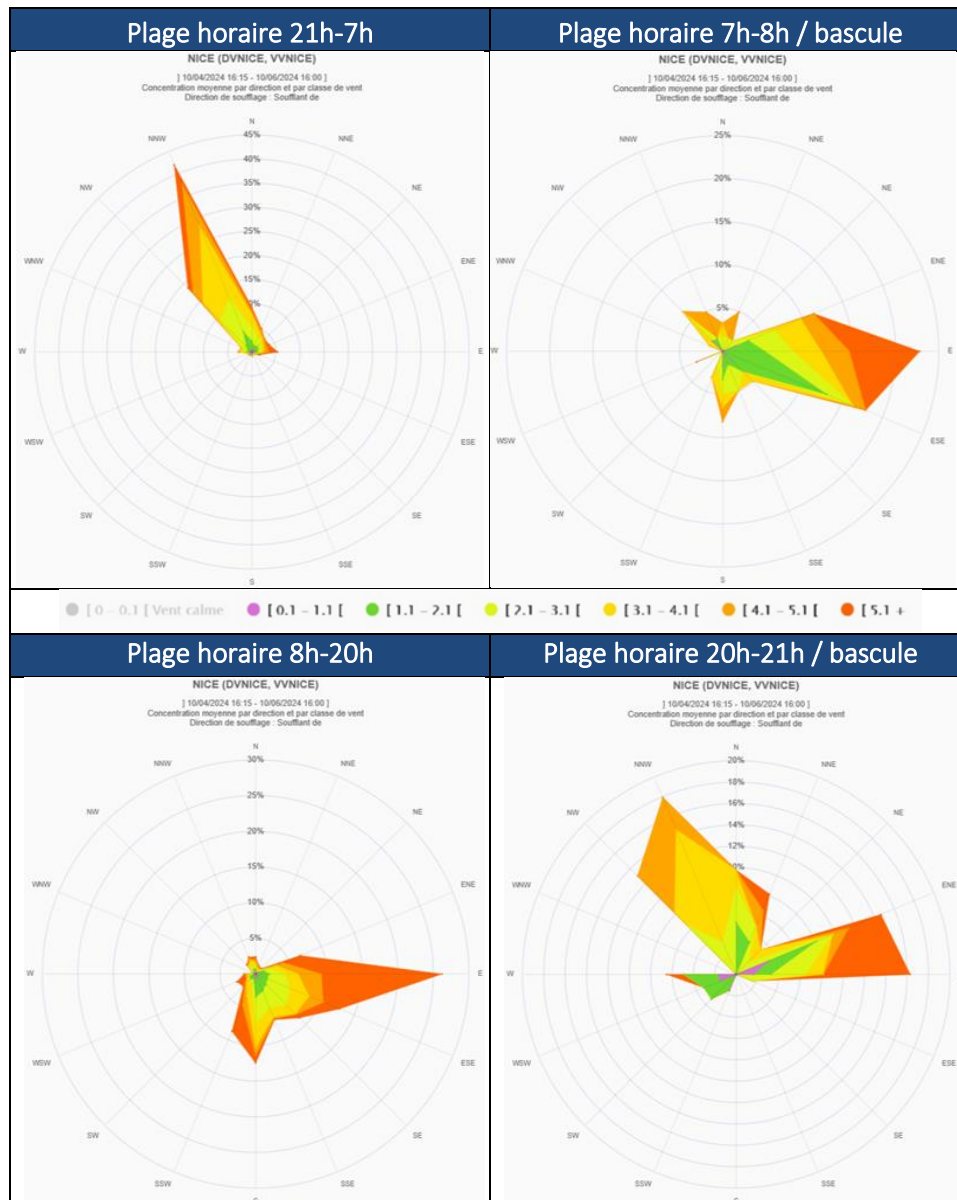


Figure 7 : Rose des vents à l'aéroport de Nice du 10 avril au 10 juin 2024 selon les plages horaires

4.2 Les sources de particules PUF situées majoritairement à l'Est

Les roses de pollution indiquent les provenances préférentielles, et donc les sources potentielles des PUF, et sont similaires pour les deux intervalles de mesure (Figure 8) :

- La nuit (21h-7h) des restrictions de vols sont appliquées⁵, à l'atterrissage et au décollage des avions, afin de limiter les nuisances sonores subies par les riverains des aéroports, les sources de PUF sont diffuses, et ne peuvent pas être attribuées à une origine aéroportuaire.
- Au moment des bascules de vent (7h-8h et 20h-21h), les sources de PUF étant essentiellement secteur-Est-Nord-Est désignent majoritairement la plateforme aéroportuaire comme origine.
- En journée (8h-20h), des sources de PUF sont multiples et situées dans un large quart Nord-Nord-Est/Sud-Sud-Est (plateforme aéroportuaire + ville) et au Nord-Nord-Ouest ou à l'Ouest (réseau routier + ville). Pour chaque heure de cette période, les roses de pollutions sont sensiblement les mêmes avec une prédominance des vents de secteur Nord-Est/Sud-Est. Les vents provenant du Sud/Sud-Est apparaissent en fin de journée (16h-19h) mais restent minoritaires.

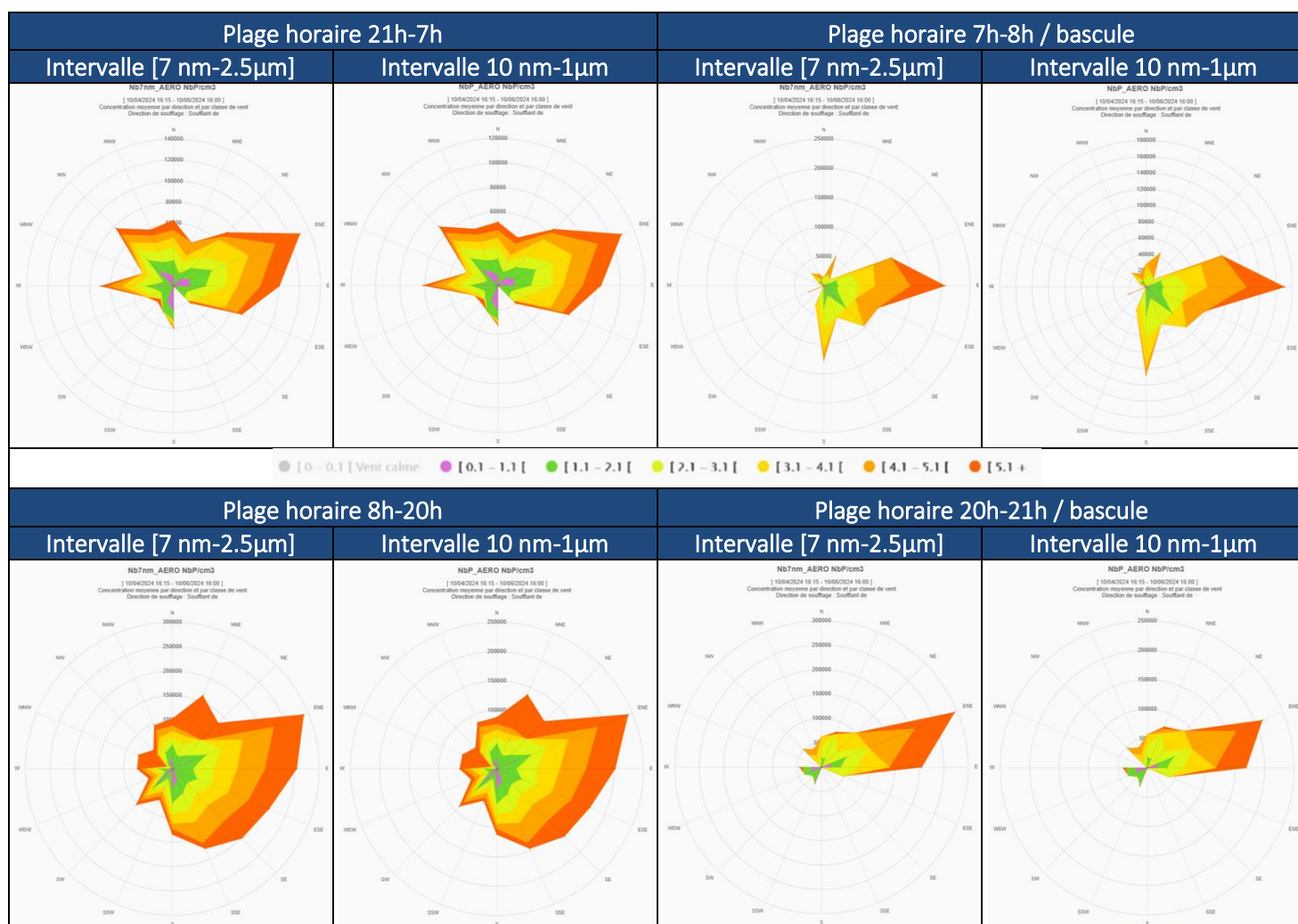


Figure 8 : Roses de pollution à l'aéroport de Nice du 10 avril au 10 juin 2024 pour les deux intervalles de taille

La similitude des roses de pollution établies dans les deux intervalles ne met pas en évidence de sources supplémentaires de PUF dans l'intervalle [7 nm-2.5 µm]. Ainsi, mesurer uniquement les PUF dans l'intervalle [10 nm-1 µm] n'entraînerait pas de perte d'informations significatives quant à l'identification de leurs sources.

⁵ arrêté 2 mars 2010 portant restriction d'exploitation de l'aérodrome de Nice-Côte d'Azur, publié au JORF n°0078 du 2 avril 2010. Lien <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000022050091>.

5 ANALYSES GRANULOMETRIQUES

La mesure du nombre total des PUF peut être couplée à celle de la granulométrie, permettant d'obtenir la distribution statistique du nombre de particules selon plusieurs classes de taille. Lors de cette campagne, deux séquences de mesures par granulométrie ont été menées à l'aéroport pendant 10 jours : l'une du 22 mars au 2 avril avec un diamètre de coupure à 10 nm et l'autre du 11 au 21 juin avec un diamètre de coupure à 7 nm. Les mesures sont effectuées avec un pas de temps de 5 mn sur 136 intervalles de taille de 3 nm à 385 nm⁶.

L'objectif est de voir l'influence de la méthode de mesures sur la distribution granulométrique. Les statistiques par intervalle sont indiquées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Statistiques granulométriques des mesures entre le 10 avril et le 10 juin 2024

	Intervalle 10 nm - 385 nm	Intervalle 7 nm - 385 nm
Date de campagne	22 mars – 2 avril	11 au 21 juin
Moyenne maximale / classe	358 particules/cm ³	470 particules/cm ³
Diamètre médian de la moyenne maximale	14.08 nm	14.59 nm
Intervalle de taille	13.82 nm-14.33 nm	14.33 nm-14.86 nm

5.1 Un diamètre moyen autour de 14 nm, quelle que soit la limite inférieure

Les deux distributions ont un profil similaire mais avec des niveaux différents et un nombre moyen de particules plus élevé avec la coupure à 7 nm (Figure 9).

Cet écart est potentiellement dû aux périodes de mesure différentes. En effet, en juin l'activité aéroportuaire, et l'apport de PUF d'origine secondaire issues de transformation photochimique sont plus intenses en juin qu'en mars. Ainsi, du 11 au 21 juin, le nombre de mouvement d'avions est plus élevé d'environ 22 % par rapport à mars.

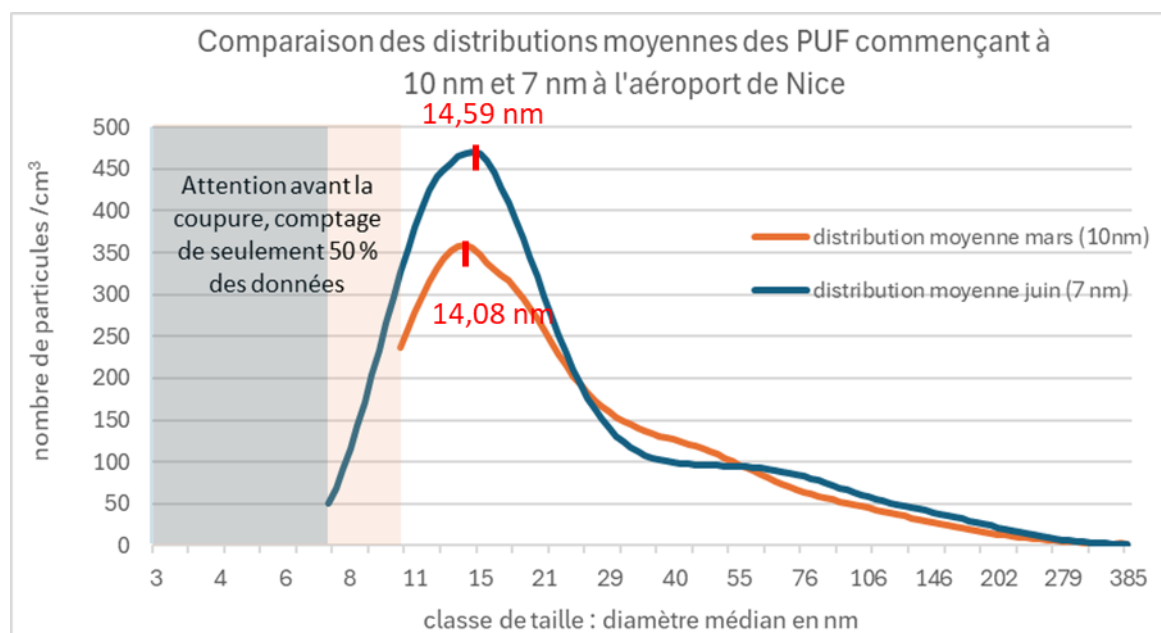


Figure 9 : Distribution granulométrique (en moyenne) à l'aéroport de Nice durant les deux campagnes de mesures

La comparaison des distributions granulométriques montre qu'en moyenne le nombre maximal de particules est observé autour de 14 nm quelle que soit le diamètre de coupure choisi.

⁶ <https://www.airparif.fr/etudes/2023/etude-campagne-de-mesure-parisienne-sur-les-particules-ultrafines-puf-variabilite-dans>

5.2 Une moyenne très influencée par les valeurs maximales et les périodes de mesure

La comparaison des distributions des moyennes, médianes et des percentiles met en évidence (Figure 10) :

- Des valeurs moyennes nettement plus élevées pour les particules de petite taille (< 20 nm) dans les deux intervalles, en cohérence avec la source aéroportuaire ;
- Pour la médiane, deux modes distincts autour de 14 nm (source aéroportuaire) et 55 nm (probablement source routière) pour l'intervalle de coupure à 7nm. Ce dernier est nettement moins visible sur l'intervalle 10nm, probablement dû à la période de mesure et aux sources associées (fréquentation moindre en mars, moins de véhicules, et forte pluviométrie).
- Pour le P90, un décalage du pic vers une gamme de taille plus petite (environ 13 nm) aussi bien en 7 nm qu'en 10 nm. Cela indique la présence ponctuelle de fortes concentrations de très petites particules, qui correspond à l'activité aéroportuaire avec des émissions ponctuelles, mais intenses lors des phases d'atterrissage et de décollage. Le nombre de particules très supérieur en 7 nm, peut provenir de la technique de mesure qui avec une coupure à 10 nm ne comptabilise qu'environ 50 % des particules alors qu'avec une coupure à 7 nm, les particules autour de 10 nm ont une meilleure représentativité.

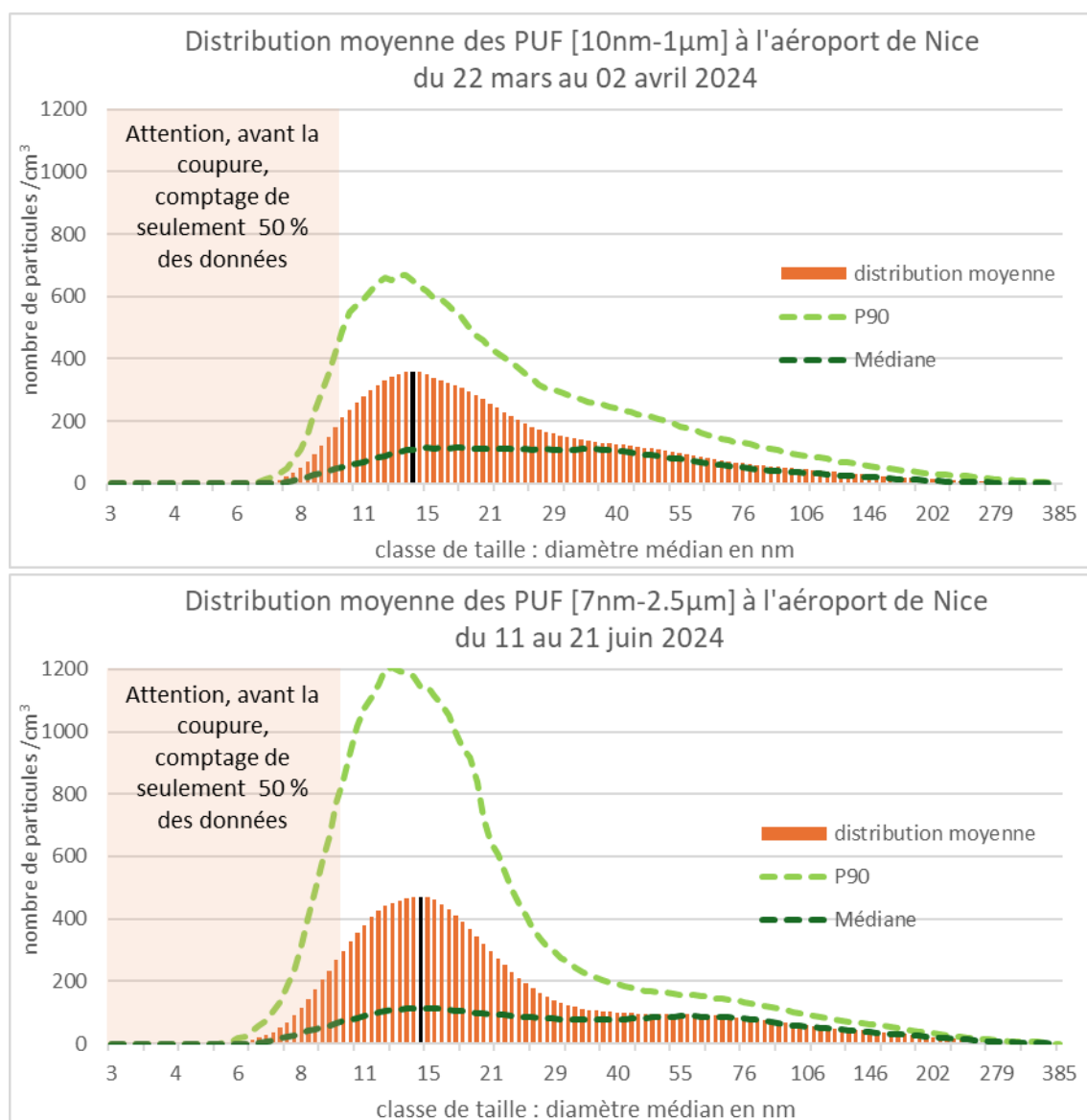


Figure 10 : Distribution moyenne et percentile durant les deux campagnes de mesures

La corrélation de ces informations avec les mouvements des avions à un pas de temps fin (5 mn) permettant d'identifier le décollage ou l'atterrissage et les directions des brises, permettrait d'isoler les sources de PUF plus précisément.

6 CONCLUSION

AtmoSud a réalisé une séquence de mesure comparative des niveaux de Particules Ultra-Fines sur deux intervalles de taille (7 nm-1 µm et 10 nm-1 µm) au niveau de la station de l'aéroport de Nice entre avril et juin 2024. La plupart des publications scientifiques attribuent aux PUF émises par les aéronefs une taille principale comprise entre 10 et 20 nm, mais certains travaux attestent la présence de PUF inférieures à 10 nm.

L'objectif est d'évaluer l'influence de l'harmonisation métrologique exigée par les directives européennes (mesure sur intervalle [10 nm-1 µm] à partir de 2023) sur les résultats et d'envisager une estimation pour comparaison des données historiques avant/après mise en œuvre de ce changement de méthode.

La comparaison des deux intervalles de taille met en évidence que :

- Les niveaux moyens sont inférieurs de 18 % dans l'intervalle [10nm-1µm] ;
- Les pics de concentrations maximales sont plus faibles d'environ 25 %.

De plus, aucune différence significative n'apparaît sur les roses de pollution établies dans chacun des intervalles, ce qui signifie que la mesure de PUF dans l'intervalle [10nm-1µm] est représentative de l'ensemble des sources possibles.

Une analyse granulométrique a été également réalisée sur 136 canaux sur les particules de taille inférieure à 385 nm. Elle permet d'identifier un mode autour de 14 nm, quel que soit l'intervalle choisi, pour les particules liées à l'activité aéroportuaire.

Les données recueillies lors de cette campagne d'intercomparaison confirment l'existence d'un mode principal centré sur 14 nm pour les PUF émises par les activités aéroportuaires.

Pour pouvoir comparer les mesures de PUF réalisées à partir de 2023 sur l'intervalle [10 nm-1 µm], AtmoSud appliquera un coefficient d'abattement de 25% sur celles réalisées avant 2023 sur l'intervalle [7 nm-1 µm].



www.atmosud.org

AtmoSud
Inspirer un air meilleur

A propos d'AtmoSud

Siège social

146 rue Paradis « Le Noilly Paradis »
13294 Marseille Cedex
Tel. 04 91 32 38 00
Fax 04 91 32 38 29
Contact.air@atmosud.org

Etablissement de Martigues

06 Route de la Vierge
13500 Martigues
Tel. 04 42 13 01 20
Fax 04 42 13 01 29

Etablissement de Nice

37 bis avenue Henri Matisse
06200 Nice
Tel. 04 93 18 88 00

SIRET : 324 465 632 00044 – APE – NAF : 7120B – TVA intracommunautaire : FR 65 324 465 632