



NANTES-ATLANTIQUE

Évaluation des concentrations en particules ultrafines dans les environs de l'aéroport de Nantes-Atlantique

Campagne juillet 2023 – janvier 2024

Rapport final – juin 2024



Sommaire

Synthèse	3
Introduction	5
Dispositif de mesure.....	6
Sites de mesure	6
Résultats.....	7
Expression des résultats	7
Les vents à Nantes-Atlantique	7
Le trafic aérien	8
Mesures en zone urbaine.....	9
Mesures dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique	11
Conclusion	20
Perspectives	20
Annexes	21

Contributions

Coordination de l'étude : François Ducroz ; Rédaction François Ducroz, Mise en page : Bérangère Poussin ;
Exploitation statistique : Eneour Le Guiban ; Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Calvar ; Photographies :
V. Joncheray et J. Gazeau ; Validation : Céline Puente-Lelièvre, David Bréhon

Conditions de diffusion

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

Synthèse

Contexte : un enjeu de protection des populations

À la suite de la concertation préalable au réaménagement de l'aéroport de Nantes-Atlantique (2019), l'État s'est engagé à réaliser une étude approfondie de l'impact du projet de réaménagement sur l'environnement et notamment sur la présence de particules ultrafines (PUF) en zone habitée à proximité de l'aéroport. Dans ce cadre, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) a demandé à Air Pays de la Loire un suivi de ces polluants.

Ce suivi initié dès novembre 2020 a mis en évidence une influence du trafic aérien sur les concentrations en PUF notamment les plus fines (inférieures à 20 nm) mesurées dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique. Dans ce cadre, en 2023, la DGAC a souhaité poursuivre ce suivi pour étudier l'impact de la reprise du trafic aérien sur les concentrations en PUF mesurées dans l'environnement de l'aéroport. Ce rapport présente les résultats de la dernière campagne de suivi qui s'est déroulée entre le 3 juillet 2023 et le 12 janvier 2024.

Objectifs

L'objectif des mesures en proximité de la plateforme aéroportuaire est double :

1. Évaluer les concentrations de particules ultrafines en zone habitée, dans l'environnement de l'aéroport, au nord-est de la piste, dans son axe avec une mise en perspective avec des mesures en proximité automobile ;
2. Étudier l'influence du trafic aérien et notamment sa reprise post covid sur les niveaux de concentrations en particules ultrafines.

Dispositifs : deux analyseurs de type SMPS

Deux analyseurs ont été utilisés durant la campagne : le premier a été placé dans une station de proximité trafic au boulevard des Frères de Goncourt à Nantes, afin d'évaluer les niveaux de concentrations dans cette typologie de site.

Le second analyseur a été disposé en zone habitée proche de l'aéroport, à la ferme de la Ranjonnière, à environ 500 m au nord-est de la piste. Ce site a déjà été instrumenté en novembre 2020 en période de très faible trafic aérien en raison du confinement.

Les analyseurs sont configurés pour faire une mesure toutes les 5 minutes sur 124 canaux, de 5 nm à 430 nm. Les mesures de concentrations sont exprimées en particules par cm^3 (P/cm^3) avec une résolution temporelle de 5 minutes.

Résultats : en zone urbaine

En 2023, les concentrations au niveau du boulevard des Frères de Goncourt durant les 6,5 mois de mesure sont inférieures à celles enregistrées durant la même période en 2022. Cette différence de concentrations est visible sur l'ensemble de la gamme granulométrique mesurée. Elle est liée à des conditions météorologiques plus dispersives en 2023 (en moyenne) avec notamment une prédominance de vents d'ouest et une absence de flux de nord-est par rapport à 2022.

Résultats : à proximité de l'aéroport

Le suivi simultané à La Ranjonnière et au niveau du boulevard des Frères de Goncourt a permis de consolider les conclusions suivantes.

La concentration moyenne et les niveaux de pointe (percentile 98) sont respectivement 1,3 et 1,4 fois plus élevés sur le site des Frères de Goncourt que sur le site de La Ranjonnière en lien avec la proximité des émissions routières au niveau du site de trafic. Ces résultats confirment les premières mesures effectuées précédemment sur ces deux sites¹.

L'influence du trafic aérien sur les concentrations enregistrées sur le site de La Ranjonnière a été de nouveau confirmée notamment pour les particules les plus fines, inférieures à 20 nm. Elle entraîne une augmentation de la concentration moyenne de près d'un facteur 4 à La Ranjonnière, lorsque le site est sous les vents de la piste [200, 210, et 220°N]², par rapport à une situation hors influence.

Cette influence du trafic aérien se traduit également par une bonne **cohérence entre l'évolution des mouvements aériens au sein de la journée et celle des concentrations en PUF** inférieures à 20 nm lorsque le site est sous les vents de la piste. Dans ce cas, le nombre de mouvements et les concentrations augmentent brusquement à partir de 6h (heure de levée du couvre-feu) et diminuent brusquement à partir du 0h (heure de mise en place du couvre-feu).

L'influence du trafic aérien qui se traduit notamment par des élévations de plus de 20 000 P/cm³ demeure ponctuelle. Ces élévations représentent 7,3 % du temps à la ferme de la Ranjonnière. Par comparaison, elles représentent 11 % du temps au niveau du boulevard des Frères de Goncourt.

Le suivi initié dès novembre 2020 et réalisé lors de différentes campagnes de mesure à La Ranjonnière a permis d'évaluer l'influence de la reprise du trafic aérien sur les concentrations liées aux mouvements aériens. Lorsque le site de mesure est sous les vents de la piste, **l'augmentation du trafic aérien se traduit par une augmentation du nombre d'élévations des concentrations** supérieures à 20 000 P/cm³, mais pas de leur amplitude³.

Conclusions et perspectives

Compte tenu de l'impact avéré du trafic aérien sur les concentrations en PUF les plus fines, Air Pays de la Loire préconise la poursuite de ces mesures dans l'environnement de l'aéroport, à des fins d'observation et pour alimenter les études sanitaires subséquentes. En effet, le trafic aérien en 2023 reste inférieur de près de 10 % à celui de 2019 et les prévisions suggèrent une augmentation annuelle du trafic de 1 % à 3,5 % à l'horizon 2030⁴. Ces mesures pourraient ainsi consolider les conclusions relatives à l'influence de l'augmentation du trafic aérien.

¹ [Rapport 4 : évaluation des concentrations en particules ultrafines dans les environs de l'aéroport de Nantes-Atlantique, campagne juillet 2022 - juillet 2023](#)

² Cette influence se traduit également par des élévations brusques des concentrations des particules ultrafines inférieures à 20 nm lorsque le site est sous les vents de la piste. Chaque élévation dure entre 5 et 10 minutes en lien avec les décollages et atterrissages (cf. [Rapport 1 : évaluation des concentrations en particules ultrafines dans les environs de l'aéroport de Nantes-Atlantique, novembre 2020 – juin 2021](#))

³ L'amplitude de l'élévation peut se définir comme la hauteur de l'élévation, exprimée en P/cm³.

⁴ [Etude complémentaire sur les hypothèses de trafic de l'aéroport Nantes-Atlantique ; Angelo Martino & Marco Brambilla, TRT, 2019](#)

Introduction

Les particules ultrafines sont des particules de diamètre inférieur à 100 nm. Elles constituent une pollution dite émergente puisque la surveillance de ces particules est récente et qu'il n'existe pas encore de réglementation dans l'air ambiant à leur sujet. On sait pourtant que le trafic aérien en est une source significative [ACNUSA, 2017] et que, compte tenu de leurs potentiels enjeux en termes d'impacts sanitaires, l'ANSES a indiqué la nécessité de compléter et de pérenniser l'acquisition des données de mesure des particules ultrafines et d'assurer un suivi de ce polluant sur le long terme.

Suite à l'annulation du projet d'aéroport à Notre-Dame-des-Landes en 2017 par le gouvernement, il a été décidé de réaménager l'aéroport de Nantes pour faire face aux projections de croissance du trafic aérien des années à venir. Ainsi, la concertation préalable au réaménagement de l'aéroport de Nantes-Atlantique du 27 mai au 31 juillet 2019 a fait émerger l'enjeu de la protection des populations et de l'environnement. Suite à cette concertation, l'État s'est engagé à réaliser une étude approfondie de l'impact du projet de réaménagement sur l'environnement et a demandé à Air Pays de la Loire un suivi des particules ultrafines sur 2 ans. L'étude a été financée par la DGAC, et a pour but d'une part d'étudier l'influence du trafic aérien sur les niveaux de concentrations en particules ultrafines et d'autre part, d'évaluer les niveaux de concentrations de ces particules en zone urbaine non-influencée par l'aéroport et en zone habitée, proche de celui-ci. Ce suivi s'est déjà concrétisé par la rédaction de 4 rapports d'études disponibles sous www.airpl.org qui ont mis en évidence une influence du trafic aérien sur les concentrations en PUF mesurées dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique. Dans ce cadre, en 2023, la DGAC a souhaité poursuivre ce suivi pour étudier l'impact de la reprise du trafic aérien sur les concentrations en PUF mesurées dans l'environnement de l'aéroport.

Ce rapport présente les résultats de la dernière campagne de suivi des particules ultrafines, entre le 3 juillet 2023 et le 12 janvier 2024 avec en premier lieu les résultats des mesures en zone urbaine de proximité trafic. La seconde partie du rapport est consacrée aux résultats de mesure dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique, sur le site de La Ranjonnaire. Les concentrations mesurées sur ce site sont mises en perspective, avec celles du site de proximité trafic du Boulevard des Frères de Goncourt, non-influencé par le trafic aérien. **Le suivi des PUF sur le site de La Ranjonnaire débuté fin novembre 2020 en période de très faible activité aérienne liée au confinement permet d'étudier l'impact de la reprise du trafic aérien sur les concentrations en PUF mesurées dans l'environnement de la plateforme aéroportuaire.**

Dispositif de mesure

Sites de mesure

Cette campagne a consisté en des mesures sur deux emplacements. Le premier site se trouve en zone urbaine de proximité trafic, non-influencé par l'aéroport, Boulevard des Frères de Goncourt à Nantes. Le second site se trouve à La Ranjonnière, à 500 m au nord-est de la piste de l'aéroport, sur l'axe de celle-ci. Les mesures se sont déroulées du 03/07/2023 au 12/01/2024.

La carte suivante présente la localisation de la totalité des sites mis en œuvre depuis le début du suivi des PUF et les dates de début et de fin de mesure.

Sur le site de La Ranjonnière : 3 séquences de mesure ont été effectuées (23/11/2020 au 22/06/2021 ; 07/07/2022 au 15/02/2023 ; 03/07/2023 au 12/01/2024). Les mesures qui ont débutées fin novembre 2020 en période de confinement avec une très faible activité aérienne, permettent d'étudier l'influence de la reprise du trafic aérien sur les concentrations en PUF.

Sur le site de trafic des Frères de Goncourt : 2 séquences de mesure ont été mises en œuvre (du 06/07/2022 au 15/02/2023 et du 04/07/2023 au 11/01/2024).

Les sites mentionnés en bleu sur la carte suivante ont été mis en œuvre dans le cadre des études précédentes⁵

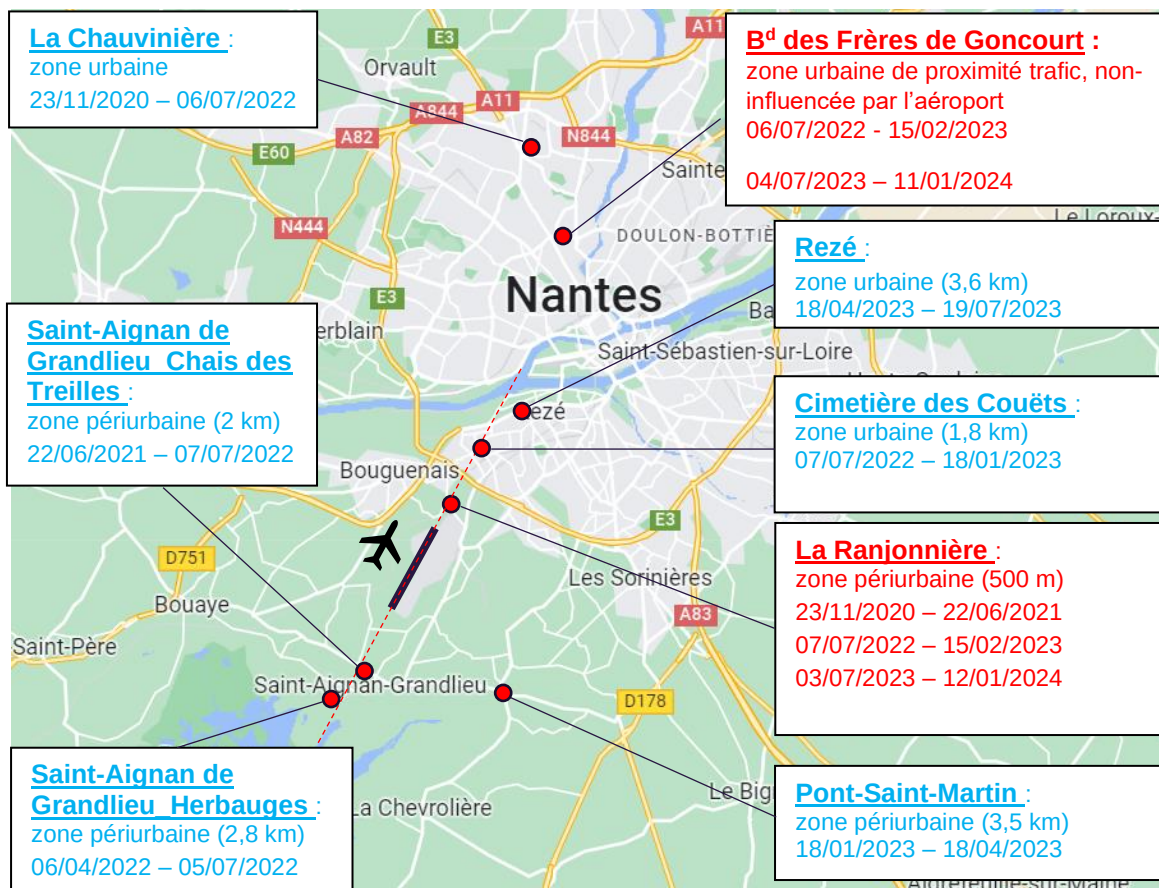


Figure 1 : emplacements des différents sites de mesure des particules ultrafines (source : Google maps)

En bleu : sites mis en œuvre lors des campagnes précédentes

La piste de l'aéroport de Nantes-Atlantique est orientée à 027/207°N géographique⁶.

⁵ [rapport d'étude 4 campagne juillet 2022-juillet 2023](#)

⁶ Orientation 028/208°N magnétique avec déclinaison 008°W

Résultats

Expression des résultats

Les analyseurs sont configurés pour faire une mesure toutes les 5 minutes sur 124 canaux, de 5 à 430 nm. Les mesures de concentrations seront exprimées en particules par cm^3 (P/cm^3) avec une résolution temporelle de 5 minutes.

Les heures sont exprimées en heures légales afin de pouvoir étudier des activités (reprise du trafic aérien en matinée par exemple) qui se produisent sur le même créneau horaire tout au long de l'année, indépendamment de l'heure d'hiver et de l'heure d'été.

Les vents à Nantes-Atlantique

Les vents sont mesurés à la station Météo-France installée sur la plateforme aéroportuaire Nantes-Atlantique. Ils sont moyennés en quart-horaire. La rose des vents suivante présente la fréquence relative des vents (en %) en fonction de la direction et de la vitesse, sur l'ensemble de la période d'étude.

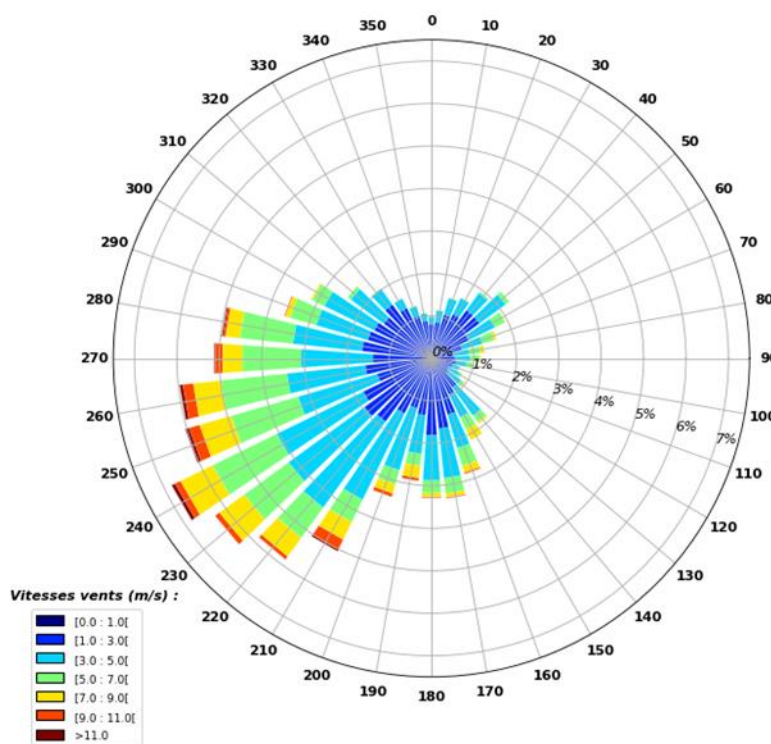


Figure 2 : rose des vents à Nantes-Atlantique du 03/07/2023 au 12/01/2024
(source : Météo-France)

Les vents mesurés lors de l'étude sont presque exclusivement des vents de sud-ouest. Contrairement à la rose normale sur 10 ans (cf. annexe 2) les vents de nord-est sont très peu présents durant la campagne de mesure. Compte tenu de cette forte prédominance des vents de sud-ouest, le site de La Ranjonnaire a été sous les vents pendant 14 % du temps.

Le trafic aérien

La figure suivante présente l'évolution des moyennes journalières du nombre de mouvements (décollages + atterrissages) calculées mois par mois depuis le début du suivi autour de l'aéroport de Nantes-Atlantique.

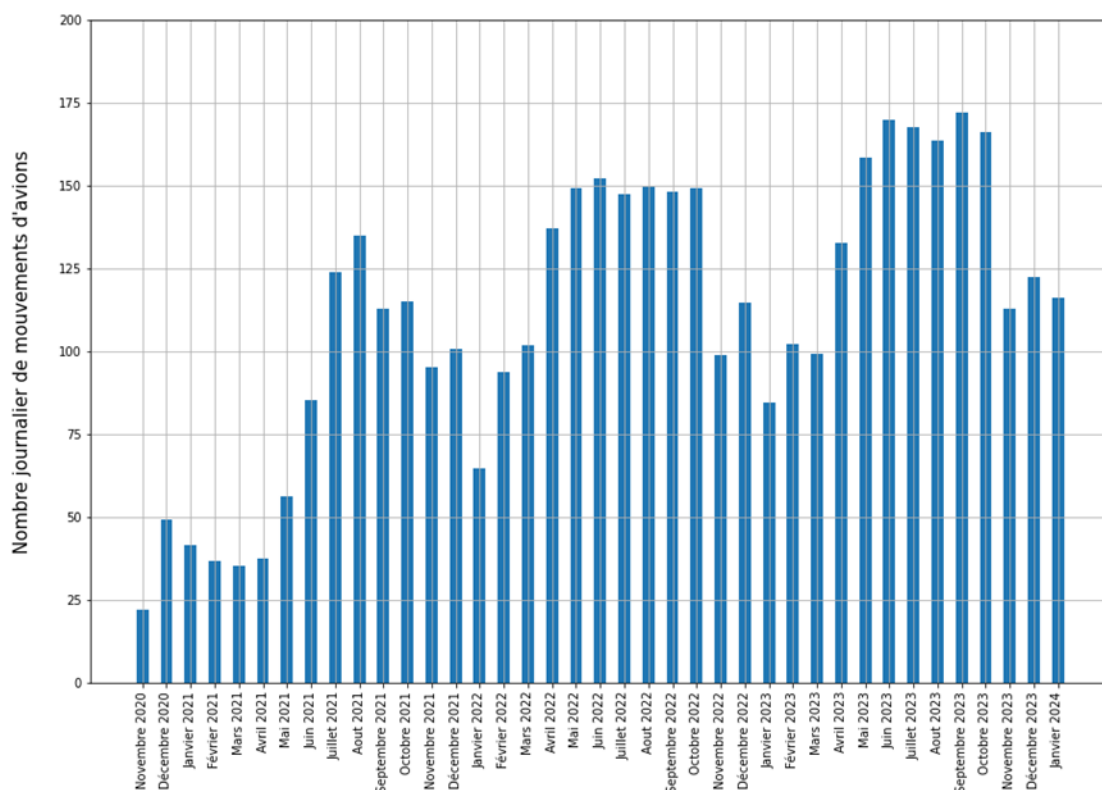


Figure 3 : évolution du nombre journalier moyen de mouvements d'avions du 23/11/2020 au 14/01/2024

La figure 3 fait apparaître une reprise du trafic aérien depuis novembre 2020. À titre d'exemple une augmentation du trafic pour les mois de décembre 2020 à décembre 2023 est enregistrée avec une augmentation plus intense entre 2020 (50 mouvements journaliers) et 2021 (100 mouvements journaliers) et plus progressive entre 2021 et 2022 (123 mouvements journaliers). Le trafic journalier est plus important de mai à octobre.

Mesures en zone urbaine

Les mesures en zone urbaine, durant cette phase de la campagne, ont été réalisées en proximité de trafic routier, dans le but d'acquérir des connaissances en termes de niveaux de concentrations en particules ultrafines dans ce type d'environnement. Ces mesures sont mises en perspective avec celles relevées sur le même site durant la même période en 2022.

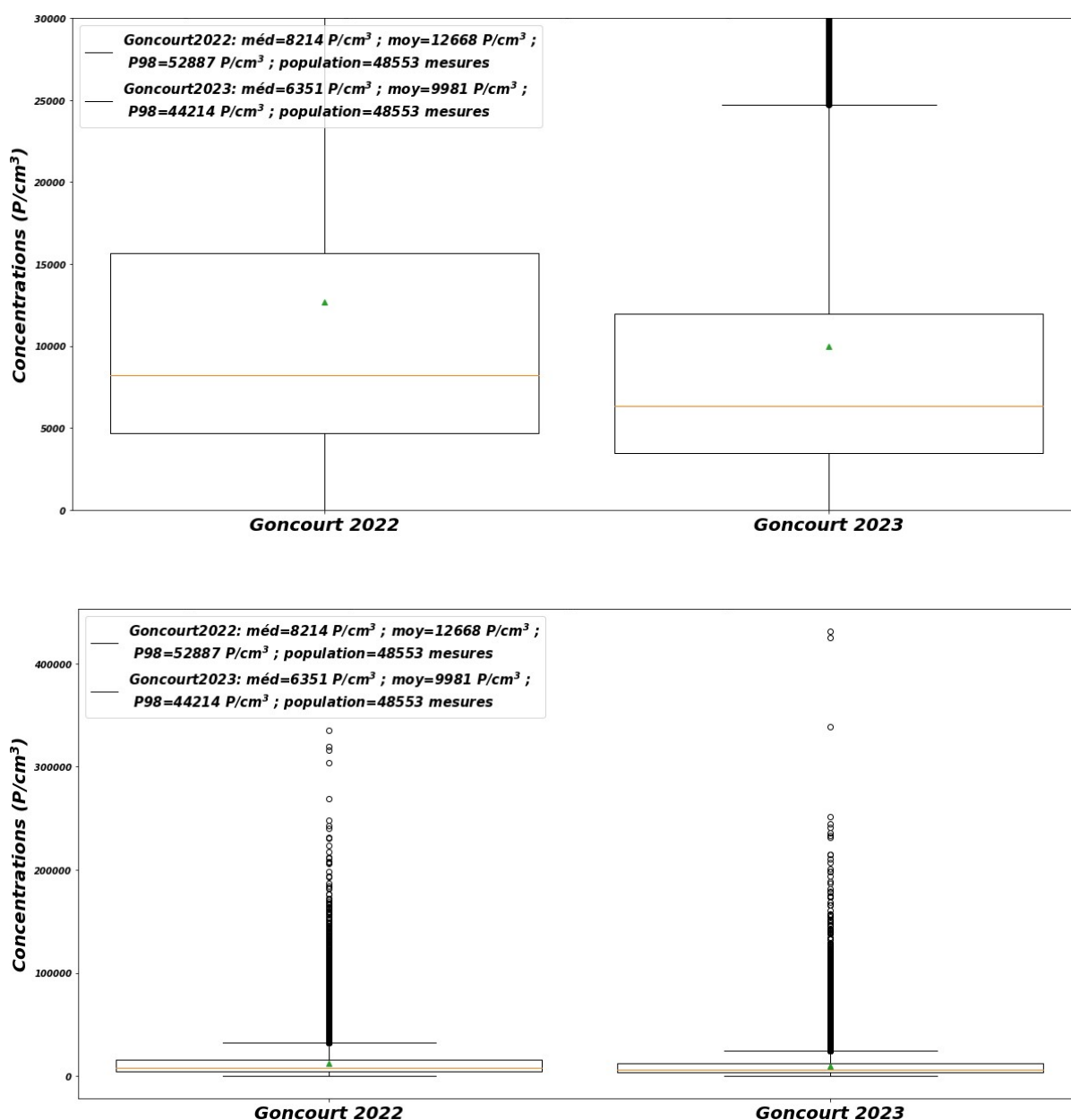


Figure 4 : boxplots des concentrations, au niveau des Frères de Goncourt de juillet 2022 à janvier 2023 et de juillet 2023 à janvier 2024. Pour une meilleure lecture, le premier graphique présente une échelle des concentrations limitée à 30 000 P/cm³. Le second est en pleine échelle

Les niveaux de concentrations au niveau du boulevard des Frères de Goncourt en 2023, sont inférieurs à ceux de 2022 en moyenne, en médiane ainsi qu'en niveaux de pointe, représenté par le percentile 98 respectivement de 23 %, 21 % et 16 %.

Cette différence est liée à des conditions météorologiques plus dispersives en 2023 avec notamment une prédominance de vents d'ouest et une absence de flux de nord-est par rapport à 2022 (cf. roses des vents ci-dessous). En effet, les flux d'ouest et de sud-ouest sont généralement associées à des conditions dépressionnaires caractérisées par des vents plus forts, une couverture nuageuse et des précipitations plus élevées tandis que les flux de nord-est sont généralement associés à des conditions anticycloniques, qui en hiver, sont caractérisées par un ciel dégagé, des températures plus faibles, et des vents moins forts, propices à l'apparition d'inversion de températures bloquant les polluants au sol. Les conditions dépressionnaires sont ainsi plutôt favorables à la dispersion des polluants tandis que des conditions anticycloniques sont plutôt favorables à l'accumulation des polluants en hiver.

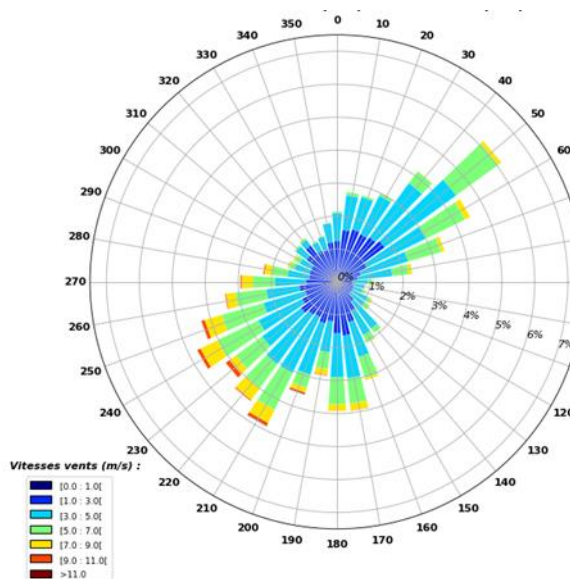


Figure 5 : rose des vents du 03/07/2022 au 12/01/2023 (source : Météo-France)

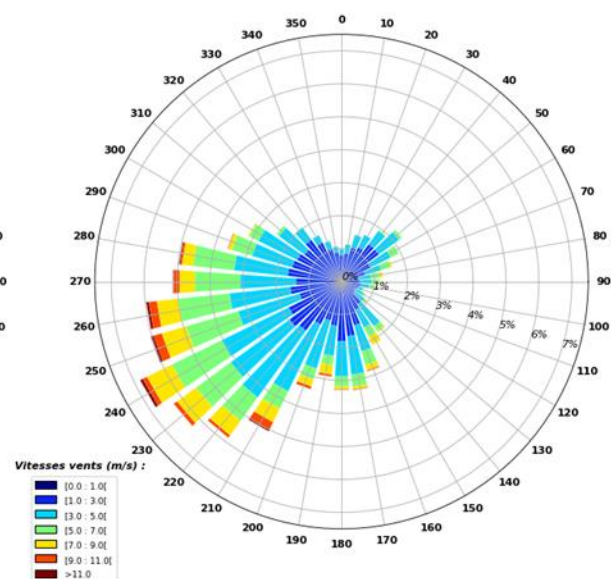


Figure 6 : rose des vents du 03/07/2023 au 12/01/2023 (source : Météo-France)

La figure 7 indique que cette supériorité des concentrations en PUF en 2022 est visible sur l'ensemble de la gamme granulométrique mesurée.

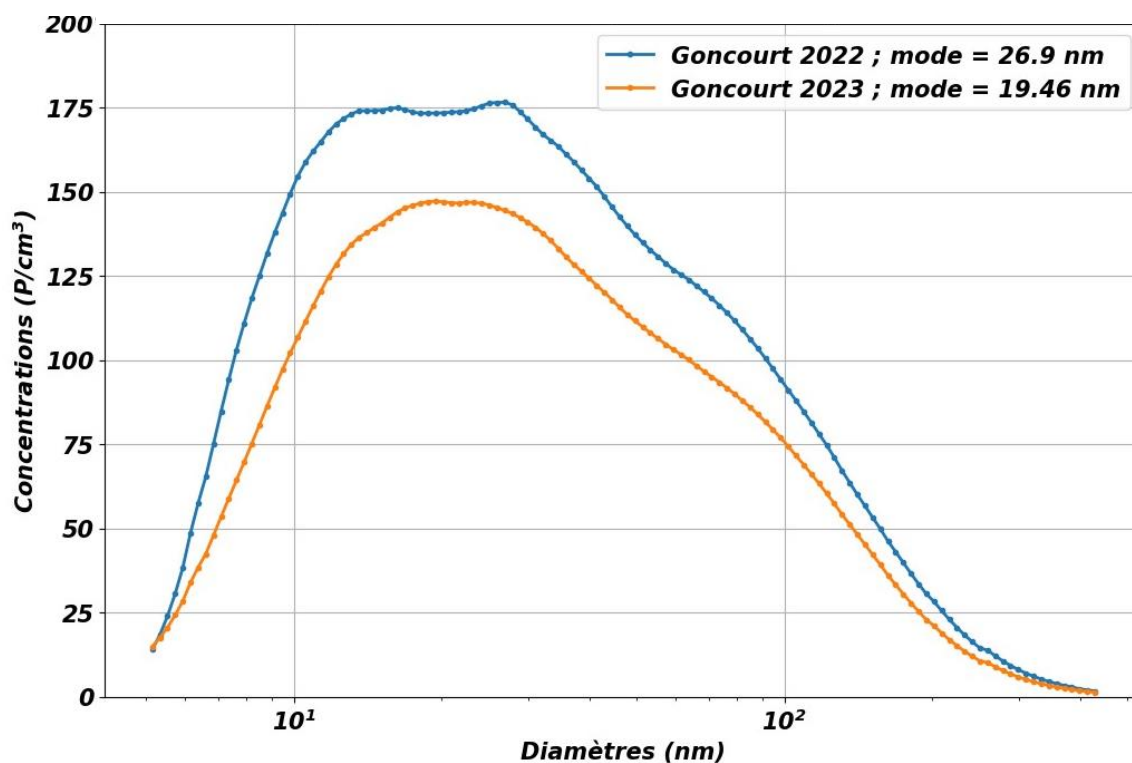


Figure 7 : distributions granulométriques des concentrations au niveau des Frères de Goncourt en 2022 et 2023

Mesures dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique

Ce chapitre est dédié à la caractérisation des niveaux en PUF enregistrés durant les 6,5 mois de mesure sur le site de La Ranjonnière situé à 500 m du bout de piste Nord. Ces mesures seront, dans un premier temps, mises en perspective avec celles enregistrées durant la même période au niveau du site de trafic du boulevard des Frères de Goncourt à Nantes. Une étude focalisée sur l'influence du trafic aérien sera ensuite réalisée.

Comparaison avec les niveaux mesurés au niveau des Frères de Goncourt

La figure 8 présente les boxplots des concentrations mesurées simultanément à La Ranjonnière et au niveau des Frères de Goncourt. On y voit des concentrations moyennes et médianes plus élevées sur le site des Frères de Goncourt que sur le site de La Ranjonnière (respectivement 1,3 fois et 1,9 fois plus élevées). De même, les niveaux de pointe (percentile 98) sont 1,4 fois plus élevés au boulevard des Frères de Goncourt qu'à La Ranjonnière en lien avec la proximité des émissions routières au niveau du site de trafic.

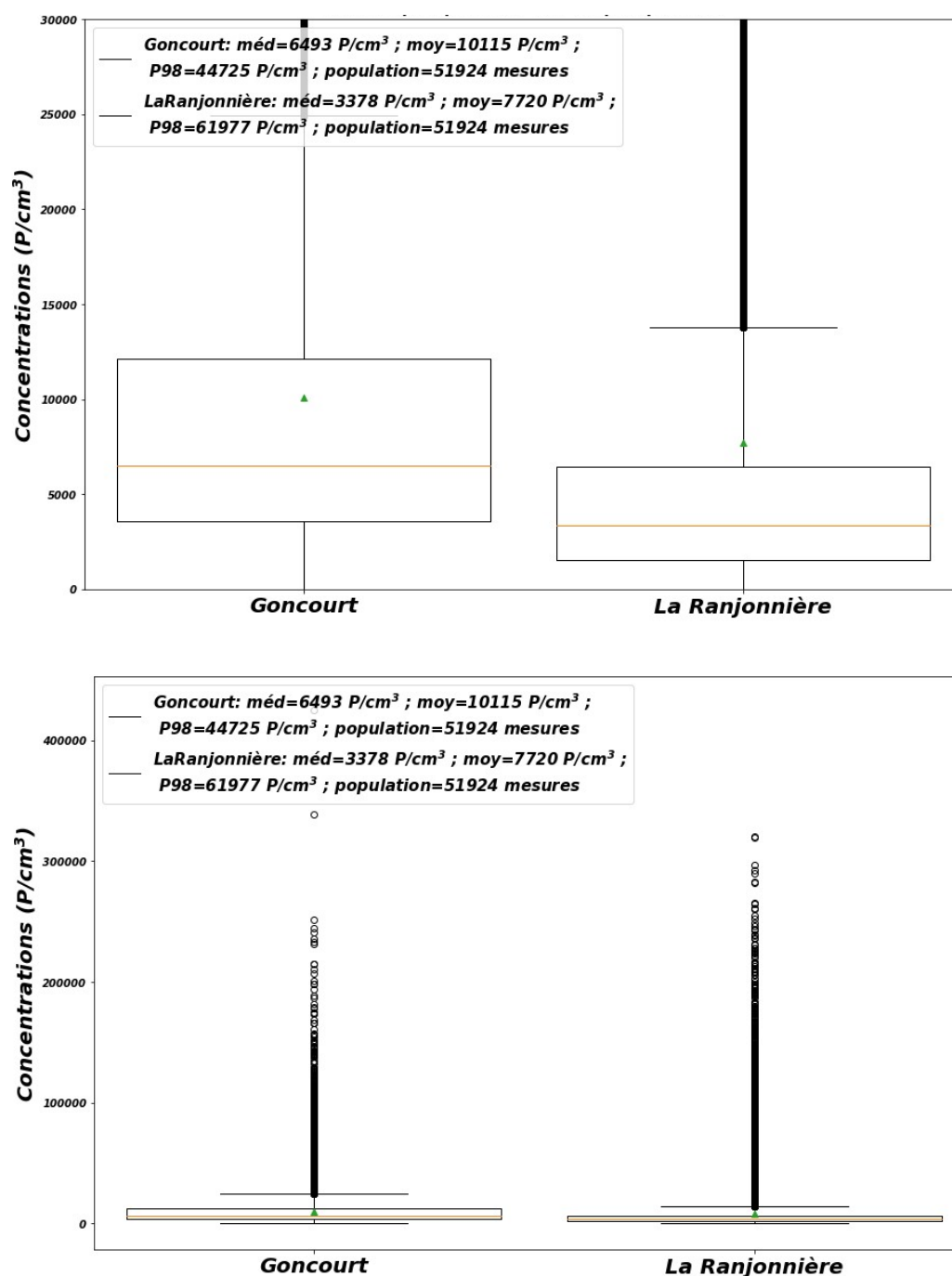


Figure 8 : boxplots des concentrations, au niveau des Frères de Goncourt et à La Ranjonnière Pour une meilleure lecture, le premier graphique présente une échelle des concentrations limitée à 30 000 P/cm³. Le second est en pleine échelle

La figure 9 montre l'évolution des concentrations moyennes enregistrées respectivement à La Ranjonnière et au niveau des Frères de Goncourt en fonction du diamètre des particules.

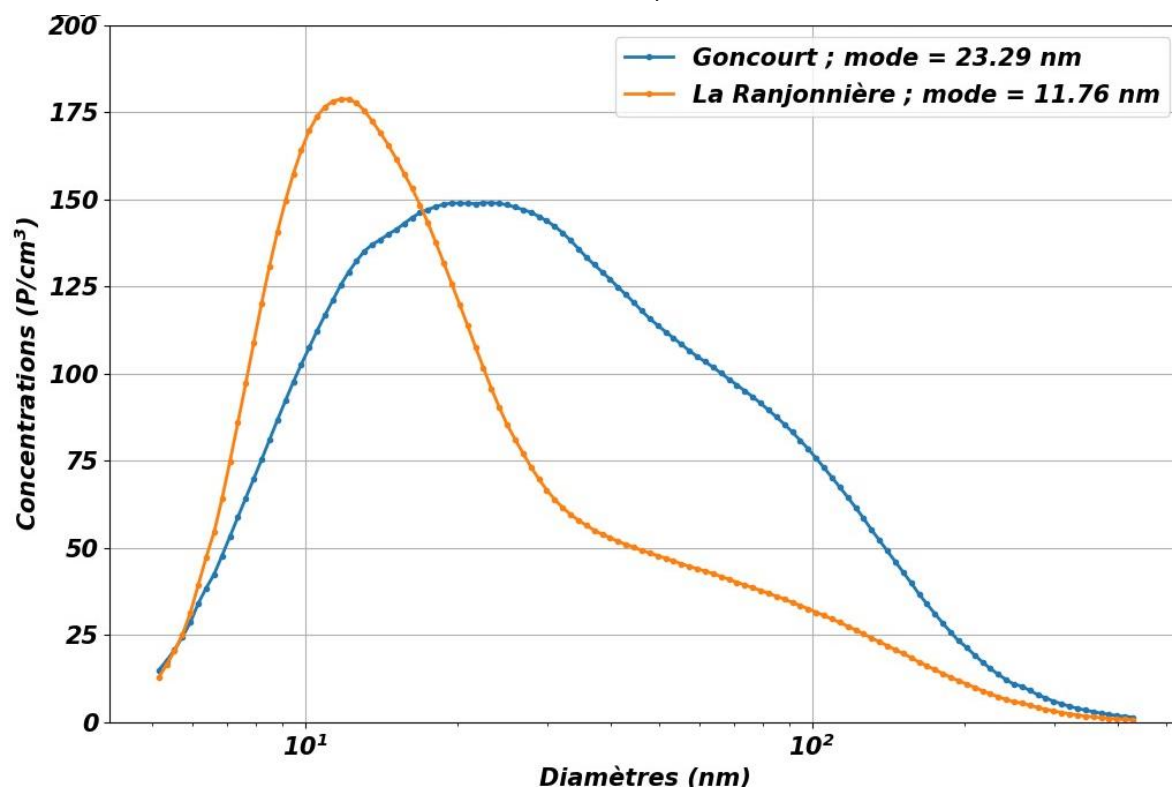


Figure 9 : distributions granulométriques moyennes à La Ranjonnière et au niveau des Frères de Goncourt

Pour des tailles de particules inférieures à 20 nm, des concentrations moyennes plus élevées sont mesurées à La Ranjonnière. Pour des particules plus grosses, les concentrations moyennes sont supérieures sur le site des Frères de Goncourt. Les élévations de concentrations enregistrées à La Ranjonnière sont essentiellement des particules inférieures à 20 nm. Cette distribution granulométrique est conforme à celles déjà observées dans les précédentes études.

Influence du trafic aérien

Les rapports précédents ont montré que les sites exposés au trafic aérien étaient caractérisés par des élévations de concentrations ponctuelles, de l'ordre de 5 à 10 minutes. Ce paragraphe présente l'étude de ces élévations de concentrations, lorsqu'elles sont supérieures à 20 000 P/cm³.

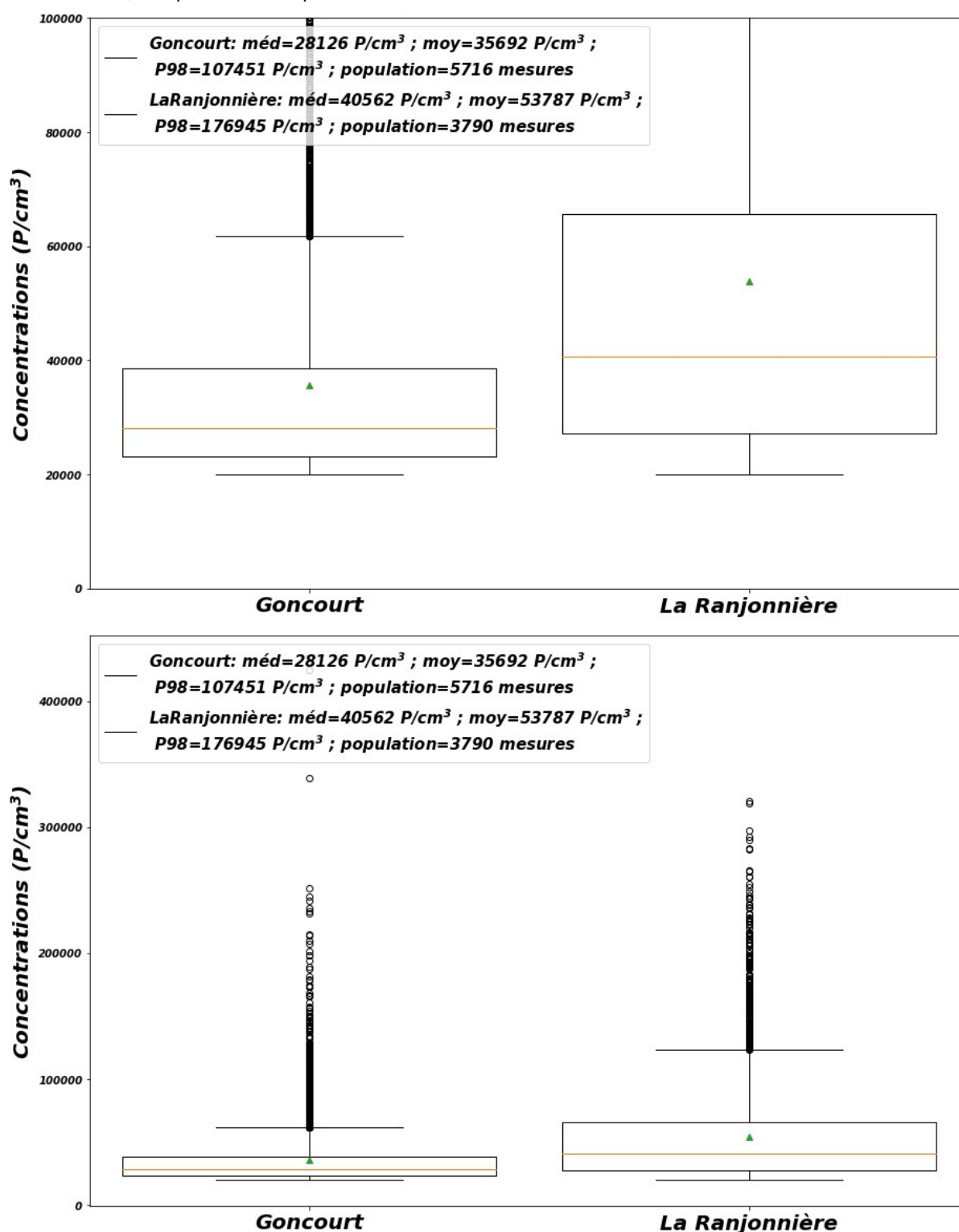


Figure 10 : boxplots des élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ enregistrées respectivement à La Ranjonnière et au niveau des Frères de Goncourt. Pour une meilleure lecture, le premier graphique présente une échelle des concentrations limitée à 100 000 P/cm³. Le second est en pleine échelle

La figure 10 montre des élévations en moyenne 1,5 fois plus élevées à La Ranjonnière (moyenne de 53 787 P/cm³) qu'aux Frères de Goncourt (moyenne de 35 692 P/cm³). La médiane des élévations est également 1,4 fois plus élevée à La Ranjonnière. En revanche, le nombre d'élévations est près de 1,5 fois plus élevé sur le site des Frères de Goncourt (5716) qu'à La Ranjonnière (3790). Ces élévations représentent respectivement 7,3 % du temps à La Ranjonnière et 11 % du temps au niveau des Frères de Goncourt.

La figure 11 montre les distributions granulométriques des concentrations supérieures à 20 000 P/cm³.

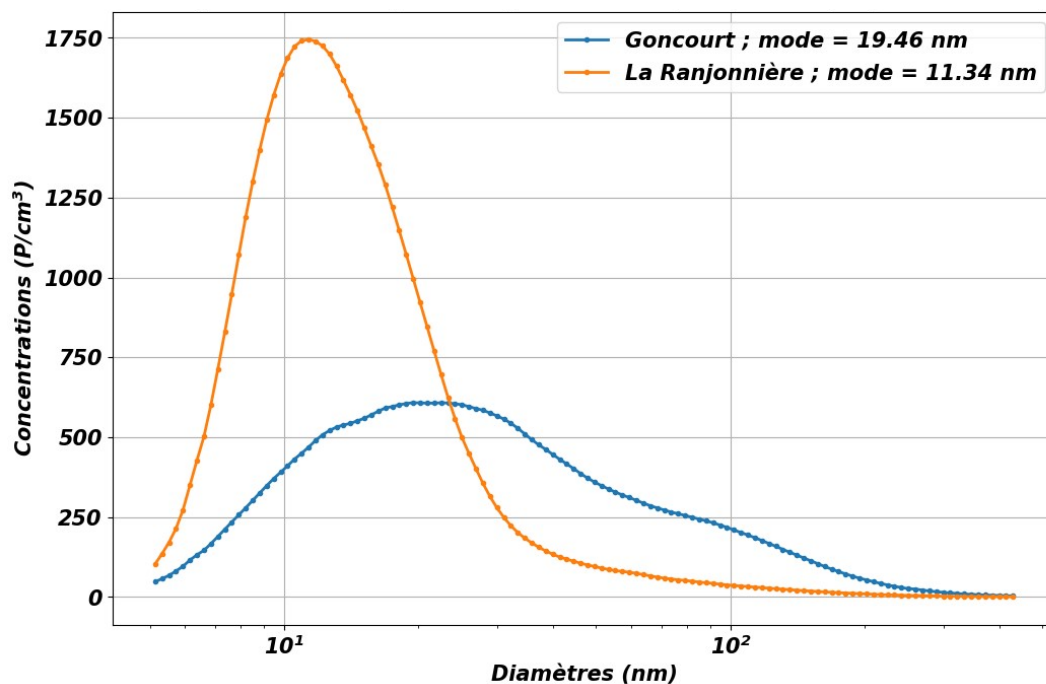


Figure 11 : distributions granulométriques des élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ à La Ranjonnère et au niveau des Frères de Goncourt

Les élévations enregistrées à La Ranjonnère sont essentiellement des particules inférieures à 20 nm avec un mode centré à 11 nm. Cette distribution granulométrique est conforme à celles déjà observées dans les précédentes études. Sur le site de trafic, la distribution granulométrique est plus étalée avec un mode centré sur des particules plus grosses (19-20 nm).

Afin de déterminer la provenance des élévations des concentrations supérieures à 20 000 P/cm³, la rose du nombre d'élévations pour chaque direction de vents a été tracée dans la figure suivante.

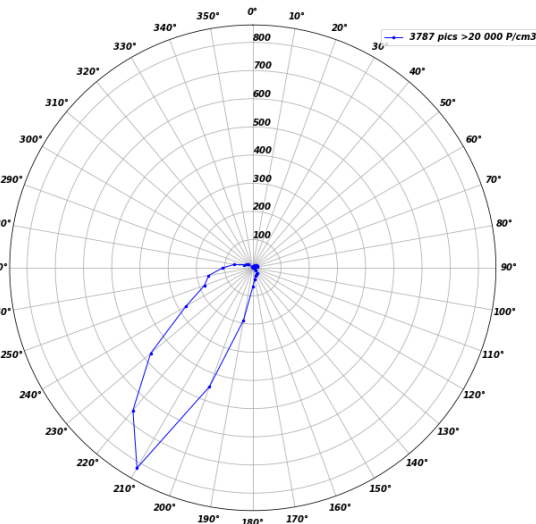


Figure 12 : rose du nombre d'élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ à La Ranjonnère

Comme les années précédentes, le nombre d'élévations des concentrations est maximum par vents de secteur [200°N-220°N] provenant de la piste de l'aéroport.

Ces élévations induisent une augmentation de la moyenne des concentrations lorsque le site est sous les vents de sud-ouest [200°N-220°N]. La rose de pollution suivante présente la moyenne des concentrations pour chaque direction de vent :

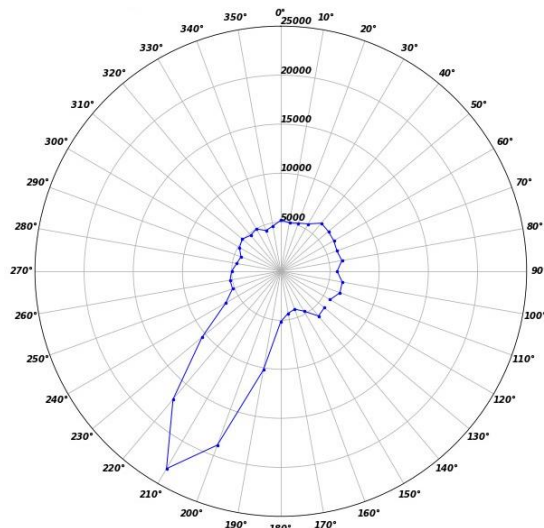


Figure 13 : rose de pollution en concentrations moyennes à La Ranjonnière

Les concentrations moyennes maximales à La Ranjonnière sont enregistrées dans la direction 210°N, direction de la piste de l'aéroport. Dans les trois directions principales (200, 210 et 220°N), des concentrations moyennes de l'ordre de 19 650 P/cm³ ont été relevées à La Ranjonnière dans ces directions, sur l'ensemble de la campagne, contre une moyenne de 5 164 P/cm³ dans les directions non-influencées par le trafic aérien. Cela représente une concentration moyenne près de 4 fois plus élevée que dans les directions non-influencées.

Afin de confirmer l'impact du trafic aérien sur les concentrations en particules ultrafines mesurées à La Ranjonnière, une comparaison des profils journaliers des concentrations avec le profil journalier du nombre de vols, par vents provenant de la piste est présentée ci-dessous.

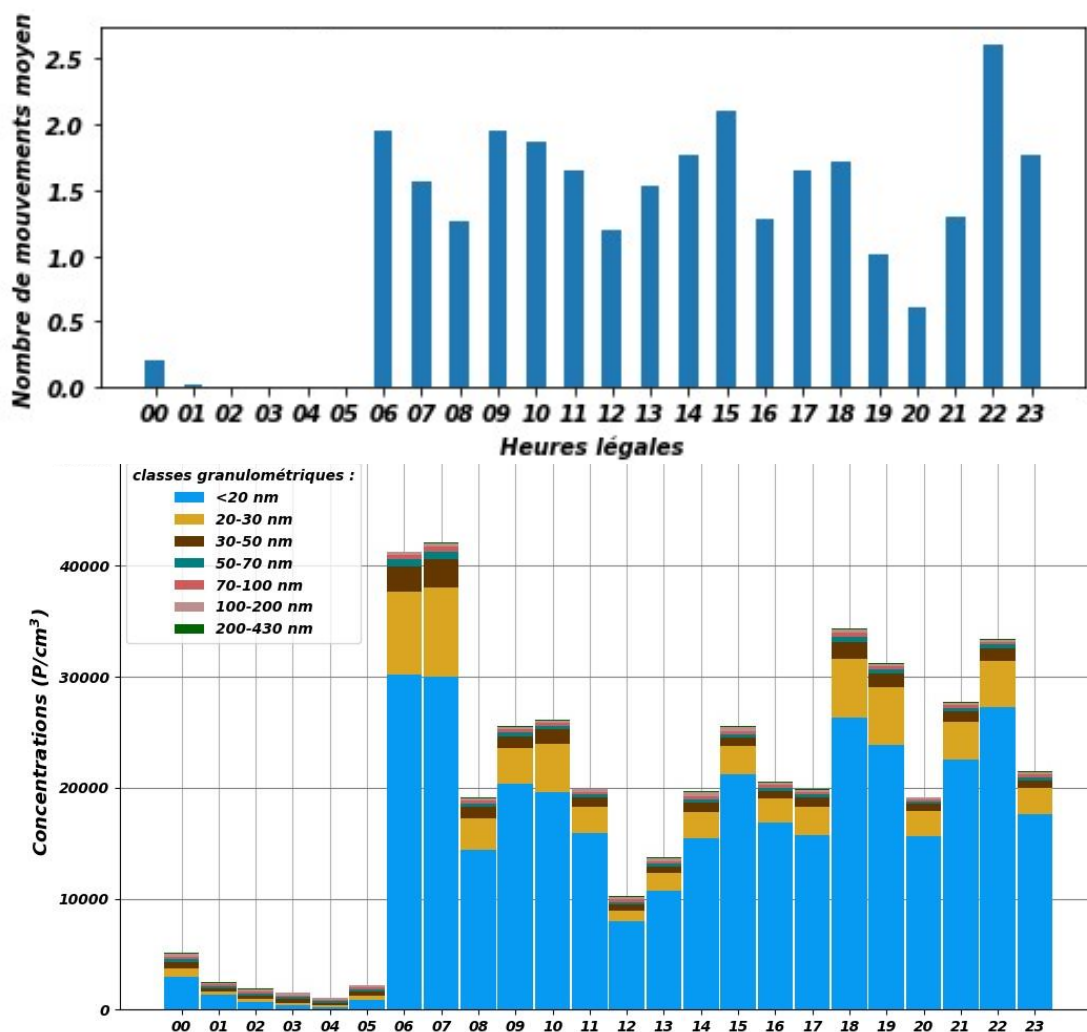


Figure 14 : comparaison des profils journaliers des concentrations mesurées à La Ranjonnière par vents provenant de la piste de l'aéroport (200, 210 et 220°N) avec le profil journalier du nombre moyen de mouvements d'avions par vents provenant de la piste (200, 210 et 220°N)

Comme lors des précédentes campagnes de mesure menées à La Ranjonnière, une corrélation entre les deux types de profils, avec un nombre de mouvements et des concentrations qui augmentent brusquement à partir de 6h (heure du levé du couvre-feu) et qui diminuent brusquement à partir du 0h (heure de mise en place du couvre-feu). Les concentrations mesurées entre 6h et 0h sont essentiellement issues de particules inférieures à 20 nm et varient entre 8 000 P/cm³ et 30 000 P/cm³ en moyenne, avec des concentrations maximales à 6h et 7h. À contrario aucune corrélation entre les deux profils n'est visible lorsque le site n'est pas sous les vents de la piste (cf. figure suivante).

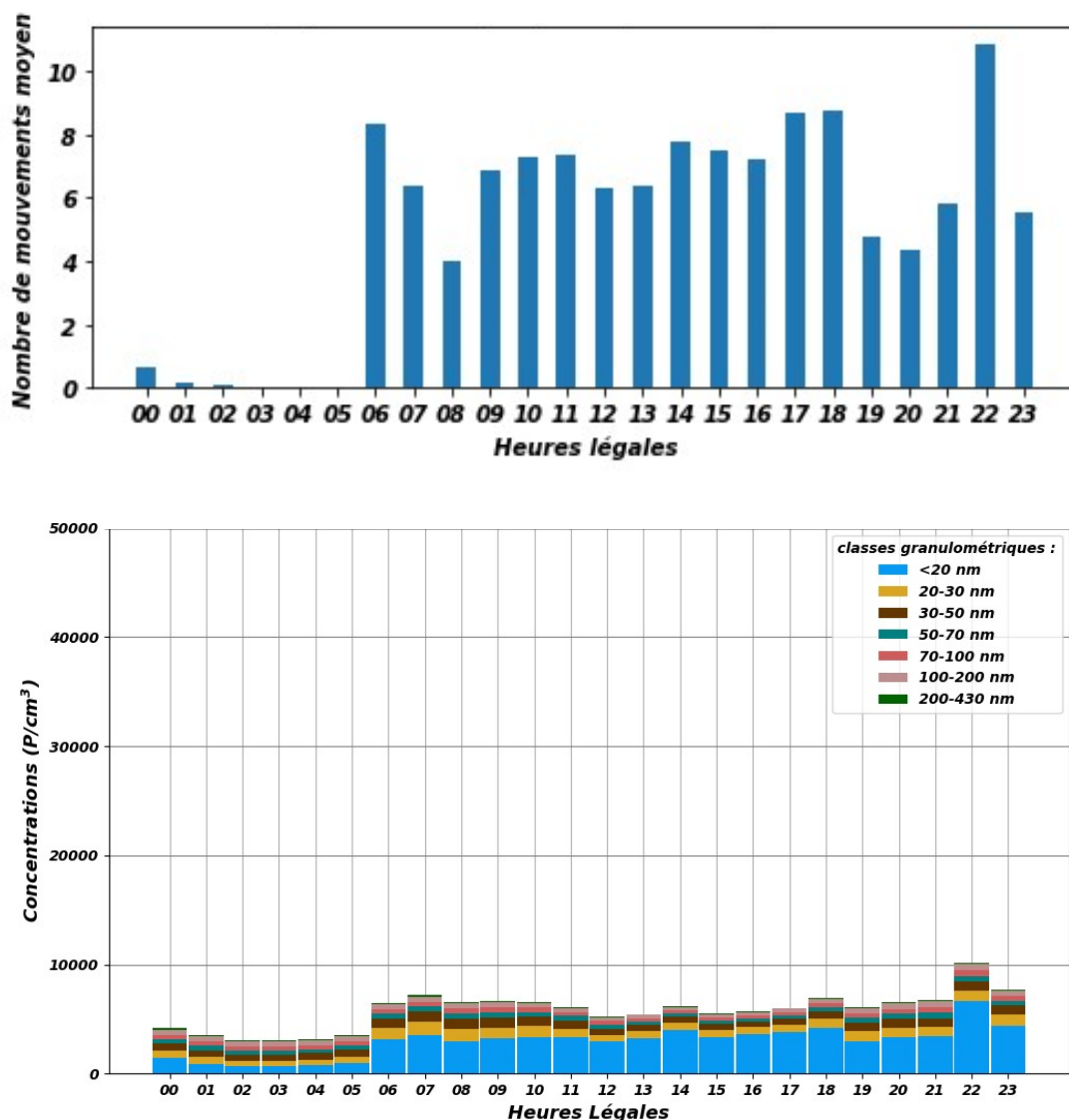


Figure 15 : comparaison des profils journaliers des concentrations mesurées à La Ranjonnière hors vents provenant de la piste de l'aéroport (l'ensemble des directions sauf 200, 210 et 220°N) avec le profil journalier du nombre moyen de mouvements d'avions hors vents provenant de la piste (l'ensemble des directions sauf 200, 210 et 220°N)

Influence de la reprise du trafic aérien sur les concentrations en PUF mesurées à La Ranjonnière

Le suivi des PUF sur le site de La Ranjonnière débuté fin novembre 2020 en période de très faible activité aérienne liée au confinement va permettre d'étudier l'augmentation du trafic aérien sur les concentrations en PUF mesurées dans l'environnement de la plateforme aéroportuaire à la ferme de La Ranjonnière. 3 séquences de mesure ont en effet été mises en œuvre sur ce site :

- Du 23/11/2020 au 22/06/2021
- Du 07/07/2022 au 15/02/2023
- Du 03/07/2023 au 12/01/2024

Influence de l'augmentation du trafic aérien sur le nombre d'élévations de concentrations

Pour qu'une influence du trafic aérien soit visible sur les concentrations en PUF, il est nécessaire d'avoir à la fois la présence d'avions sur la piste au décollage/atterrissage et que le site de mesure soit sous les vents de la piste. Dans ces conditions, des élévations de concentrations en PUF supérieures à 20 000 P/cm³ sont visibles. Compte tenu de ces 2 conditions nécessaires, l'étude considère uniquement les mouvements d'avions présents lorsque le site de mesure est sous les vents de la piste soit des vents compris entre [200°N - 220°N].

Le graphique suivant montre l'évolution du nombre moyen d'élévations supérieures à 20 000 P/cm³ enregistrées par vents de secteur [200°N-220°N] dans une journée en fonction du nombre journalier moyen d'avions par vents de secteur [200°N-220°N].

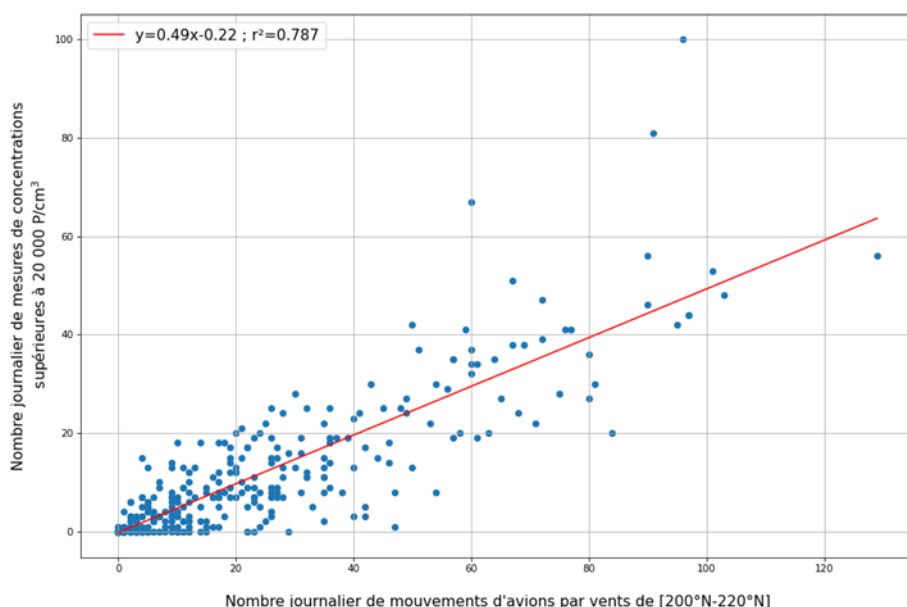


Figure 16 : évolution du nombre journalier d'élévations supérieures à 20 000 P/cm³ par vents de [200°N-220°N] en fonction du nombre journalier d'avions favorables c'est-à-dire présents par vents de [200°N-220°N]

Nous constatons une corrélation significative ($r^2 = 0.787$) entre l'évolution du nombre journalier de mouvements d'avions par vents de [200°N - 220°N] et celle du nombre de mesures de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ par vents de secteur [200°N-220°N]. En d'autres termes, lorsque le site de mesure est sous les vents de la piste, l'augmentation du nombre journalier de mouvement d'avions se traduit par une augmentation de la fréquence d'apparition des élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³.

Influence de l'augmentation du trafic aérien sur la surconcentration enregistrée durant les élévations de concentrations

Dans ce paragraphe, nous allons étudier l'influence de l'augmentation du trafic aérien sur l'amplitude des élévations de concentrations lorsque le site de mesure est influencé par les émissions du trafic aérien. Pour ce faire la surconcentration est calculée.

Elle correspond à la moyenne journalière des élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ liées aux émissions des avions (c'est-à-dire dans le secteur [200°N-220°N]) diminuée de la concentration moyenne enregistrée lorsque le site n'est pas sous les vents de piste.

Le graphique suivant montre ainsi l'évolution de la surconcentration moyenne journalière en fonction du nombre journalier moyen d'avions par vents de secteur [200°N-220°N].

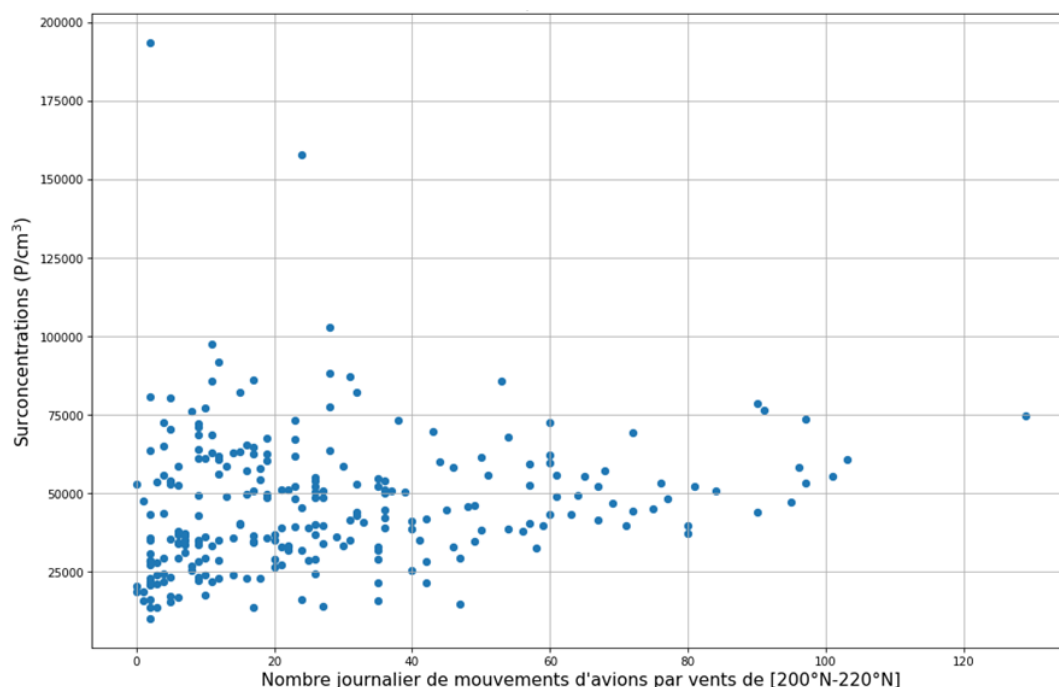


Figure 17 : évolution de la surconcentration journalière par vents de [200°N-220°N] en fonction du nombre journalier d'avions favorables c'est-à-dire présents par vents de [200°N-220°N]

Aucune corrélation n'est visible entre l'évolution du nombre de mouvements d'avions par vents de [200°N-220°N] et l'évolution de la surconcentration (c'est-à-dire de l'amplitude des élévations) liée aux émissions des avions.

En d'autres termes, lorsque le site de mesure est sous les vents de la piste, l'augmentation du nombre journalier de mouvement d'avions n'engendre pas d'augmentation significative de l'amplitude des élévations liées aux émissions des avions.

En résumé, lorsque le site de mesure est sous les vents de la piste, l'augmentation du trafic aérien se traduit par une augmentation du nombre d'élévations des concentrations mais aucune augmentation de l'amplitude des élévations n'est visible.

Cette augmentation de la fréquence d'apparition des élévations de concentrations entraîne une augmentation des concentrations journalières associées (cf. graphique suivant qui montre l'évolution des concentrations journalières en PUF en fonction du nombre journalier de mouvements d'avions par vents de [200°N-220°N]).

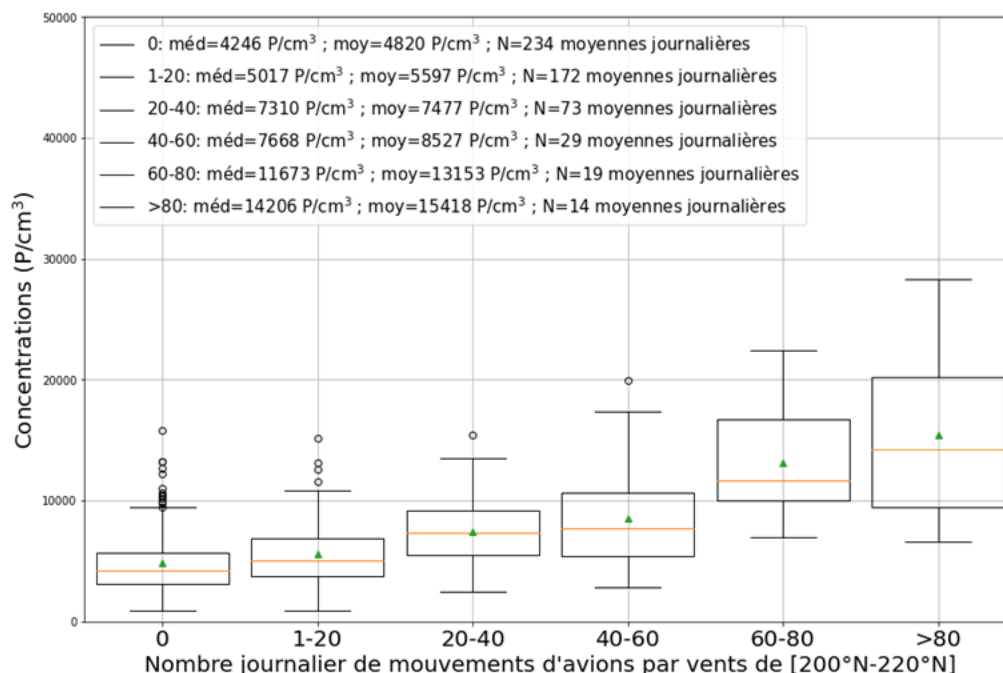


Figure 18 : évolution de concentration journalière en fonction du nombre journalier de mouvements d'avions par vents de [200°N-220°N]

On constate par exemple une augmentation d'un facteur 3 de la concentration journalière entre la situation où aucun avion n'influence le site de mesure (moyenne de 4 820 P/cm³) et celle où plus de 80 avions/jour influencent le site de mesure (moyenne de 15 418 P/cm³). Cette augmentation des concentrations journalières est à mettre en perspective avec le pourcentage du temps durant lequel les avions sont susceptibles d'influencer les concentrations journalières.

Le graphique suivant présente la fréquence de survenue des différentes classes de trafic aérien présent dans le secteur [200°N-220°N].

La courbe en bleu correspond à la totalité des mesures réalisées sur le site de La Ranjonnière soit du 23 novembre 2020 au 12 janvier 2024. Cette période inclut donc la période de très faible trafic aérien liée à la pandémie de covid-19. La courbe orange représente la situation pour la dernière campagne de mesure du 3 juillet 2023 au 12 janvier 2024.

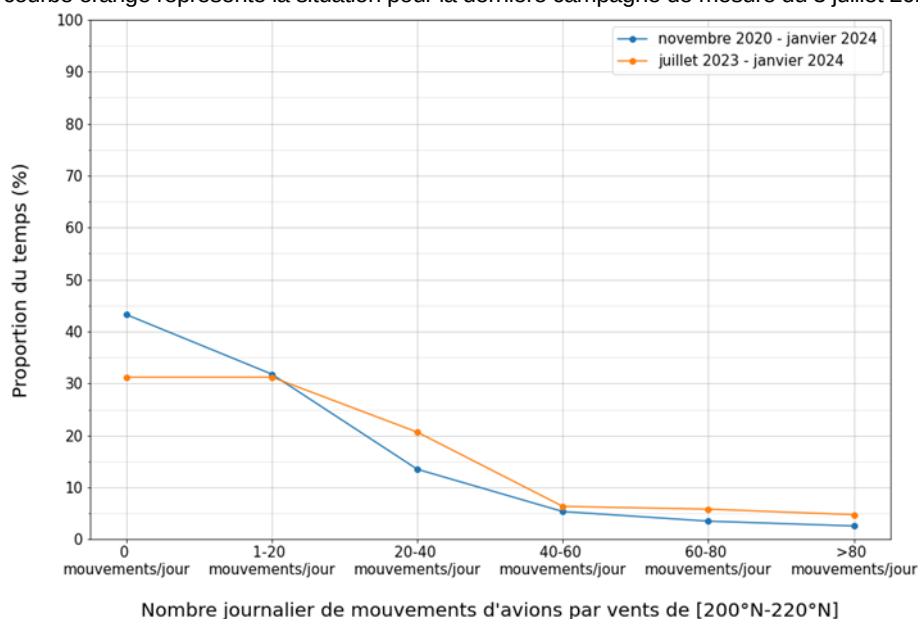


Figure 19 : fréquence de survenue des différentes classes de trafic aérien présent dans le secteur [200°N-220°N]

Sur la totalité de la période de mesure, durant plus de 40 % du temps aucun avion n'influence les concentrations mesurées à La Ranjonnière. Cette proportion chute à 31 % lorsque l'on considère la dernière période de mesure en lien avec la reprise du trafic aérien post covid.

Les cas où plus de 80 avions sont susceptibles d'influencer les concentrations en PUF à La Ranjonnière représentent respectivement 2.6 % du temps sur l'ensemble des mesure et 4.8 % sur la dernière période (juillet 2023- janvier 2024).

Conclusion

En milieu urbain

Les niveaux de concentrations au niveau du boulevard des Frères de Goncourt enregistrés du 3 juillet 2023 au 12 janvier 2024, sont inférieurs en moyenne, en médiane ainsi qu'en niveaux de pointe (percentile 98) respectivement de 23 %, 21 % et 16 % par rapport à la même période de l'année précédente.

Cette différence est liée à des conditions météorologiques plus dispersives en 2023 avec notamment une prédominance de vents d'ouest et une absence de flux de nord-est par rapport à 2022.

Dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique

Le suivi simultané à La Ranjonnère et au niveau du boulevard des Frères de Goncourt réalisé entre le 4 juillet 2023 et le 11 janvier 2024 montre :

- une concentration moyenne et de pointe respectivement 1,3 et 1,4 fois plus élevée sur le site des Frères de Goncourt que sur le site de La Ranjonnère en lien avec la proximité des émissions routières au niveau du site de trafic. Ceci confirme les premières mesures effectuées précédemment sur ces deux sites⁷.
- l'influence du trafic aérien sur les concentrations enregistrées sur le site de La Ranjonnère a été de nouveau confirmée. Elle entraîne une augmentation de la concentration moyenne de près d'un facteur 4 à La Ranjonnère, lorsque le site est sous les vents de la piste [210, 220 et 230°N]⁸, par rapport à la situation où le site n'est pas sous les vents.
- l'influence du trafic aérien (élevations ponctuelles de plus de 20 000 P/cm³) est observée 7,3 % du temps à la ferme de La Ranjonnère (c'est-à-dire environ 2 heures par jour ou 640 heures dans l'année). Par comparaison, ces élévations représentent 11 % du temps au niveau du boulevard des Frères de Goncourt (soit 2,5 h/jour ou 960 h/an).

Le suivi initié dès novembre 2020 et réalisé lors de différentes campagnes de mesure à La Ranjonnère a permis d'évaluer l'influence de la reprise du trafic aérien sur les concentrations liées aux mouvements aériens. Lorsque le site de mesure est sous les vents de la piste, l'augmentation du trafic aérien se traduit par une augmentation du nombre d'élévations des concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ mais pas par une augmentation de leur amplitude.

Perspectives

Compte tenu de l'impact avéré du trafic aérien sur les concentrations en PUF les plus fines, Air Pays de la Loire préconise la poursuite de ces mesures dans l'environnement de l'aéroport, à des fins d'observation et pour alimenter les études sanitaires subséquentes. En effet, le trafic aérien en 2023 reste inférieur de près de 10 % à celui de 2019 et les prévisions suggèrent une augmentation annuelle du trafic de 1 % à 3,5 % à l'horizon 2030⁹. Ces mesures pourraient ainsi consolider les conclusions relatives à l'influence de l'augmentation du trafic aérien.

⁷ <https://www.airpl.org/rapport/evaluation-des-concentrations-en-particules-ultrafines-dans-les-environs-de-l-aeroport-de-nantes-atlantique-campagne-juillet-2022-juillet-2023>

⁸ Cette influence se traduit également par des élévations brusques des concentrations des particules ultrafines inférieures à 20 nm lorsque le site est sous les vents de la piste. Chaque élévation dure entre 5 et 10 minutes en lien avec les décollages et atterrissages (cf. <https://www.airpl.org/rapport/evaluation-des-concentrations-en-particules-ultrafines-dans-les-environs-de-l-aeroport-de-nantes-atlantique-novembre-2020-juin-2021>)

⁹ <https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2021-04/Nantes-Debat-Public%20-%20TRT%20presentation%20-%2018%20juillet%202019%20version%20fran%C3%A7aise.pdf>

Annexes

- Annexe 1 : Air Pays de la Loire
- Annexe 2 : les particules ultrafines
- Annexe 3 : rose des vents enregistrée sur 10 ans (2013-2023) du 3 juillet au 12 janvier

Annexe 1 : Air Pays de la Loire

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé par le Ministère de l'Environnement pour assurer la **surveillance de la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire** 24h/24 et 7j/7.

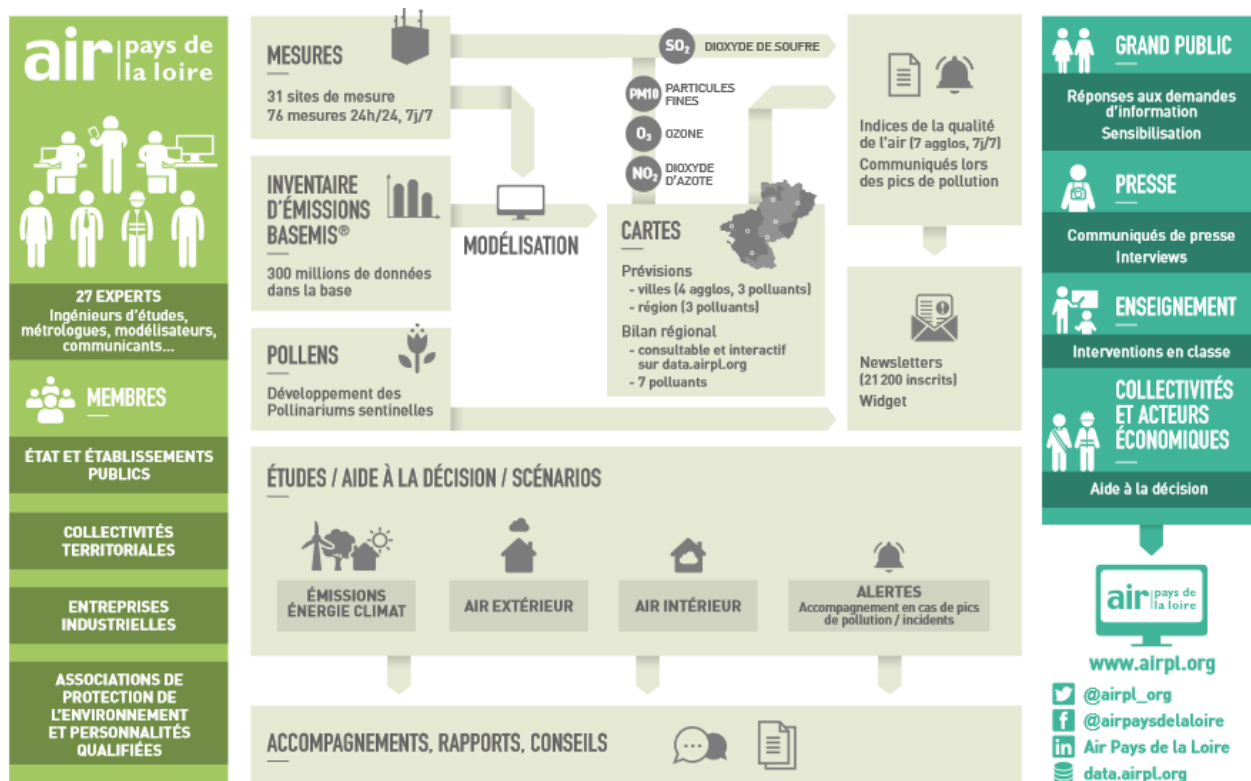
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- sur www.airpl.org : mesures en temps réel, prévisions régionales et urbaines, rapports d'études, actualités...
- via des newsletters gratuites : indices de qualité de l'air du jour et du lendemain, alertes pollution et alertes pollens ;
- sur Twitter (@airpl_org) et Facebook (Air Pays de la Loire)

Ses domaines d'expertise portent sur :

- **qualité de l'air extérieur** : mesures en temps réel, prévisions de qualité de l'air, cartographies, études autour d'industries, dans des zones agricoles...
- **qualité de l'air intérieur** : mesures dans des établissements recevant du public, appui aux collectivités dans les constructions de bâtiments, études spécifiques...
- **émissions, énergie, climat** : inventaire régional des émissions de polluants, gaz à effet de serre et des données énergétiques (BASEMIS®), aide à la décision pour les collectivités (plans climat air énergie territoriaux)...
- **pollens** : diffusion en temps réel des résultats sur la région.

Organisé sous forme pluri-partenaire, Air Pays de la Loire réunit quatre groupes de partenaires : l'Etat, des collectivités territoriales, des industriels et des associations de protection de l'environnement et de défense des consommateurs.



Annexe 2 : les particules ultrafines

Classification des particules ultrafines

Les particules sont classées en différents modes selon leurs tailles. Le mode correspond à la taille de particule la plus représentée en nombre. Il en existe quatre pour lesquelles les sources, compositions chimiques et mécanismes de formation diffèrent : le mode de nucléation qui comprend les particules inférieures à 30 nm. Le mode d'Aitken comprend les particules entre 30 et 100 nm, le mode d'accumulation pour des particules entre 100 nm et 1000 nm et enfin le mode grossier pour les particules dont le diamètre est supérieur à 1 µm. Les particules ultrafines sont donc classées dans les deux premiers modes.

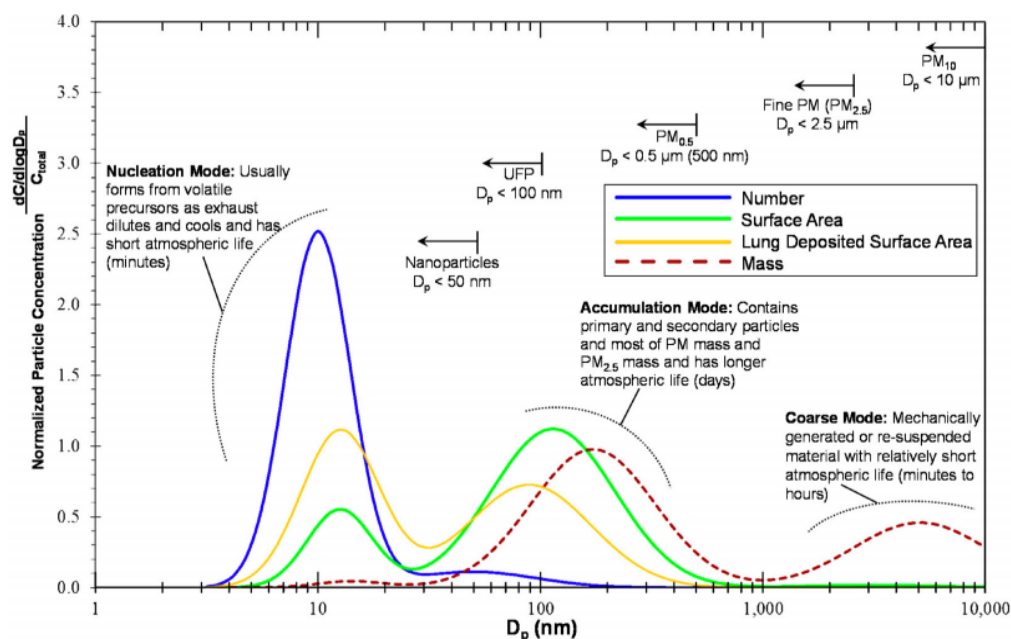


Figure 20 : différents modes des particules [Baldauf et al, 2016]

Les particules du mode de nucléation (1 à 30 nm) sont généralement formées par nucléation, c'est-à-dire par conversion de gaz en particules suite au refroidissement des émissions de combustion. Elles sont généralement composées de sulfates, nitrates, métaux et de composants organiques carbonés [Seinfeld et al, 2006].

Les collisions avec de plus grosses particules du mode d'accumulation sont responsables de leur relativement courte durée de vie, demi-vie de l'ordre d'une heure [Austin et al, 2021], c'est le phénomène de coagulation de ces particules. Les autres mécanismes d'élimination sont les dépôts secs et humides (lessivage), ou le grossissement par condensation.

Les particules du mode d'Aitken (30 nm à 100 nm) proviennent majoritairement du grossissement des particules du mode de nucléation, de la coagulation de ces dernières ou encore en tant que polluant primaire suite à la combustion de matières fossiles. Elles sont principalement composées de suies ou de cendres servant de noyau de condensation à des matières volatiles.

Le mode d'accumulation (100 nm à 1000 nm) est composé d'agglomérats de matières carbonées provenant de la combustion d'hydrocarbures ou de la coagulation de particules des autres modes. Elles se forment dans la chambre de combustion ou peu après, par la condensation de matières organiques carbonées. Elles ont une longue durée de vie, de l'ordre de plusieurs jours à plusieurs semaines et peuvent de ce fait se déplacer sur de longues distances. Elles sont cependant facilement éliminées par lessivage. De par leurs tailles, elles interagissent avec la lumière visible et sont donc en partie responsables de la pollution visuelle.

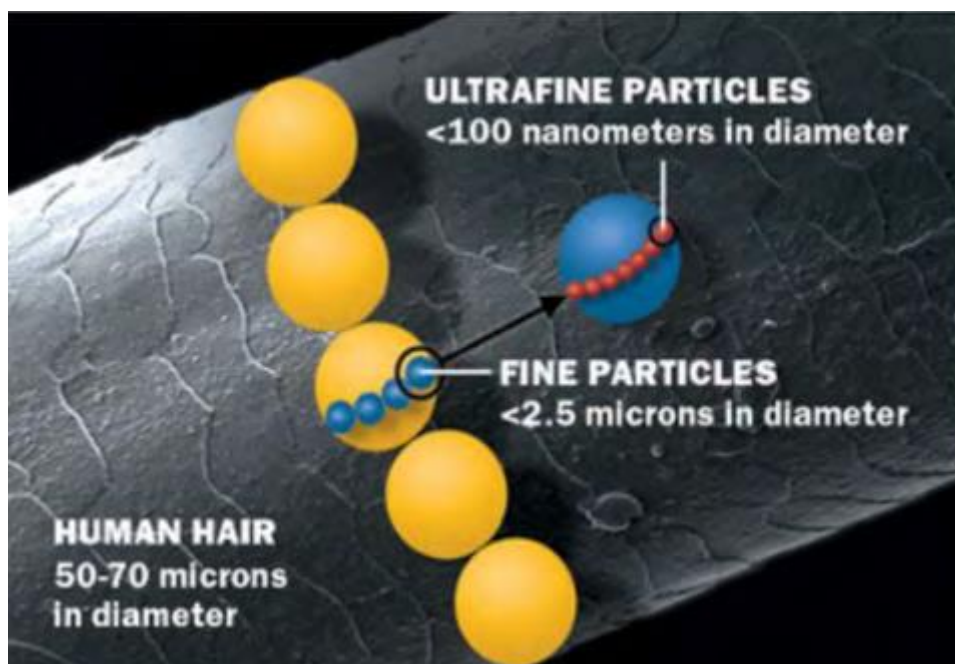


Figure 21 : taille d'une particule ultrafine comparé à un cheveu

Comme l'indique le tableau ci-contre, l'étude [Wichmann *et al.*, 2000] met en avant la prédominance du nombre de particules ultrafines par rapport au nombre de particules fines, de l'ordre de 88 % du nombre total des particules fines et ultrafines. À l'inverse, les particules fines prédominent largement en masse, malgré leur faible nombre relatif à celui des PUF. Ainsi, la masse des particules fines est de l'ordre de 97 % de la masse totale des particules fines et ultrafines, contre 3 % pour les particules ultrafines.

Size (µm)	Contribution ^a	
	Number	Mass
Ultrafine particles		
NC _{0.01-0.03}	88%	3%
NC _{0.03-0.05}		
NC _{0.05-0.1}		
Fine particles		
MC _{0.1-0.5}	12%	97%
MC _{0.5-1.0}		
MC _{1.0-2.5}		
Total ultrafine and fine particles		
0.01-2.5	100%	100%
Coarse particles		
PM _{10-2.5}	—	20%
TSP-PM ₁₀	—	30%

^a Based on the data from Erfurt 1995 to 1998: contribution of ultrafine and fine particles to number and mass in the size range of 0.01-2.5 µm and contribution of coarse particles to mass of total aerosol size distribution.

Tableau 1 : contribution en nombre et en masses de différents types de particules

Granulométrie des différentes sources d'émissions de particules ultrafines

La mise en place en 2011 de la norme Euro 5 pour les diesels neufs et depuis 2015 la norme Euro 6 pour les essences neuves, impose une limite d'émissions en nombre de particules. L'installation de filtres à particules rend la plage d'émissions du trafic routier assez large et très variables selon les véhicules. On retrouve tout de même des modes de distribution de particules émises par les voitures dans les modes de nucléation et d'Aitken [Rivas *et al.*, 2020].

Le trafic aérien est une source significative d'émission de particules ultrafines par la combustion de kérozène [ACNUSA 2017]. La taille des particules émises par les moteurs à réaction est inférieure à celles émises par les moteurs thermiques des voitures. Selon des études déjà existantes [Stacey *et al.*, 2020 ; ACNUSA 2017, Liati *et al.*, 2014 ; Stafoggia *et al.*, 2016 ; Keuken *et al.*, 2015], les émissions du trafic aérien seraient caractérisées par des émissions dans le mode de nucléation, compris entre 10 et 20 nm.

L'étude de Liati *et al.* de 2014 a mesuré par microscope à transmission électronique (TEM) les diamètres des PUF pour différents régimes moteurs d'avions. Elle mentionne trois régimes moteurs (7 % : phase de roulage, 100 % : décollage et un régime intermédiaire à 65 %). Selon l'étude, le régime 65 % se veut représentatif du régime de croisière. Il en résulte des modes à 24, 20 et 13 nm pour des régimes moteurs de 100 %, 65 % et 7 % respectivement [Liati *et al.*, 2014]. L'étude ne mesure pas directement les particules mais les constituants primaires des agglomérats de particules (entourés, figure 3). 60 %, 75 % et 90 % des particules mesurées sont comprises entre 10 et 25 nm pour des régimes de 100 %, 65 % et 7 % respectivement. D'après cette étude, les particules sont d'autant plus petites que le régime moteur est bas.

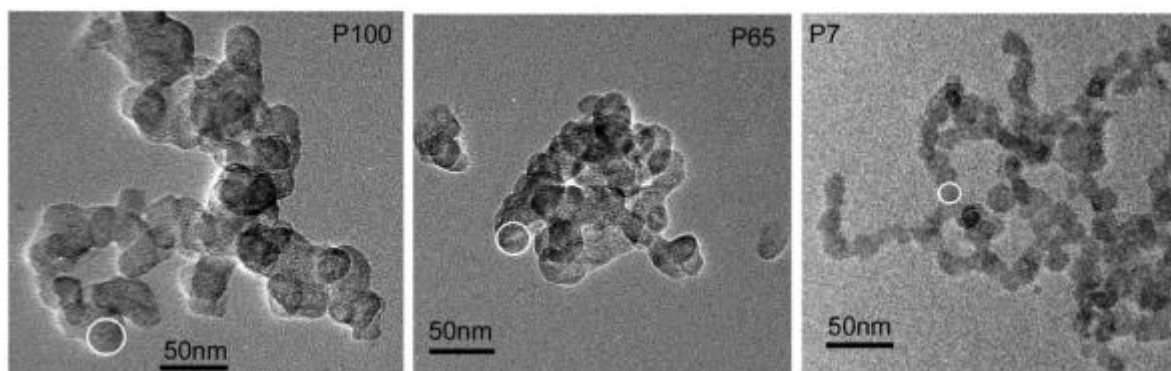


Figure 22 : agglomérats de particules ultrafines pour les trois régimes moteurs. Les particules primaires considérés dans l'étude sont entourées [Liati *et al.*, 2014]

Annexe 3 : rose des vents enregistrée sur 10 ans (2013-2023) du 3 juillet au 12 janvier

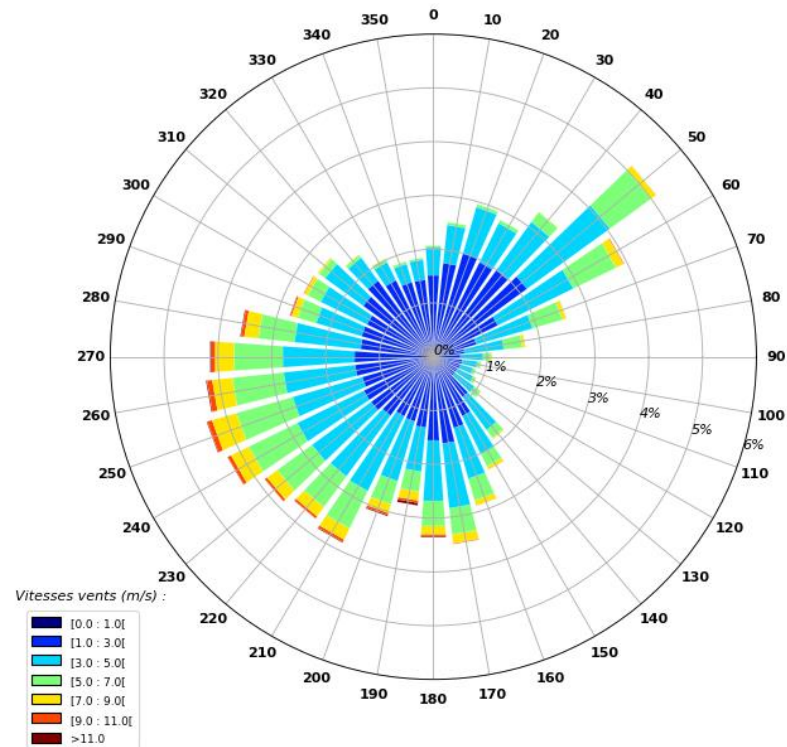


Figure 23 : rose des vents enregistrée sur 10 ans à l'aéroport de Nantes-Atlantique, du 3 juillet au 12 janvier (source : Météo-France)

Bibliographie

- Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACUSA), Particules ultrafines & Aviation, étude bibliographique, 2017
- AUSTIN, Elena, XIANG, Jianbang, GOULD, Timothy R., *et al.* Distinct Ultrafine Particle Profiles Associated with Aircraft and Roadway Traffic. *Environmental science & technology*, 2021, vol. 55, no 5, p. 2847-2858.
- Jacobi *et al.* 2016. Stefan Jacobi a: Holger Gerwig b, Wilma Travnicek a, Klaus Wirtz b: „Messung ultrafeiner Partikel im Umfeld des Frankfurter Flughafens“. FLK-Presentation, a HLNUG, Wiesbaden, b Umweltbundesamt, Langen. 2016-09-28
- KEUKEN, M. P., MOERMAN, M., ZANDVELD, P., *et al.* Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol airport (the Netherlands). *Atmospheric Environment*, 2015, vol. 104, p. 132-142.
- LIATI, Anthi, BREM, Benjamin T., DURDINA, Lukas, *et al.* Electron microscopic study of soot particulate matter emissions from aircraft turbine engines. *Environmental science & technology*, 2014, vol. 48, no 18, p. 10975-10983.
- RIVAS, Ioar, BEDDOWS, David CS, AMATO, Fulvio, *et al.* Source apportionment of particle number size distribution in urban background and traffic stations in four European cities. *Environment international*, 2020, vol. 135, p. 105345.
- Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 2006
- STACEY, Brian. Measurement of ultrafine particles at airports: A review. *Atmospheric Environment*, 2019, vol. 198, p. 463-477.
- STACEY, Brian, HARRISON, Roy M., *et* POPE, Francis. Evaluation of ultrafine particle concentrations and size distributions at London Heathrow Airport. *Atmospheric Environment*, 2020, vol. 222, p. 117148.
- STAFOGGIA, M., CATTANI, G., FORASTIERE, F., *et al.* Particle number concentrations near the Rome-Ciampino city airport. *Atmospheric Environment*, 2016, vol. 147, p. 264-273.
- WICHMANN, H. Erich, SPIX, Claudia, TUCH, Thomas, *et al.* Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany part I: role of particle number and particle mass. Research report (Health Effects Institute), 2000, no 98, p. 5-86; discussion 87.



AIR PAYS DE LA LOIRE

5 rue Édouard-Nignon
CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3
Tél + 33 (0)2 28 22 02 02
Fax + 33 (0)2 40 68 95 29
contact@airpl.org

air | pays de
la loire
www.airpl.org