



NANTES-ATLANTIQUE

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

Campagne janvier 2022 – juin 2022

Rapport intermédiaire – novembre 2022

air pays de
la Loire
www.airpl.org



Sommaire

Synthèse	2
Introduction	4
Dispositif de mesure.....	5
Sites de mesure	5
Résultats.....	7
Les vents à Nantes-Atlantique	7
Mesures en zone urbaine :.....	8
Mesures dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique : sites du Chais des Treilles et d'Herbauges ..	14
Influence du trafic aérien sur les concentrations en particules ultrafines	22
Conclusion	32
Perspectives	33
Annexes	34

Contributions

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

Remerciements

Nous souhaitons remercier le maire de Saint-Aignan de Grand Lieu de nous avoir permis d'installer les cabines accueillant les analyseurs de particules ultrafines. Nous remercions également Mickael Reynaud, Alexia Baudic et Grégory Abbou d'Airparif pour leur aide sur l'interprétation des mesures à travers les scripts R qu'ils nous ont fournis.

Synthèse

Contexte : un enjeu de protection des populations

A la suite de la concertation préalable au réaménagement de l'aéroport de Nantes-Atlantique (2019), l'Etat 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 zones habitées proches de l'aéroport. Dans ce cadre, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) a demandé à Air Pays de la Loire un suivi sur deux ans de ces polluants. Ce troisième rapport présente les résultats de l'étude sur les 6 mois de mesures au sud sud-ouest de la piste aux Chais des Treilles, à Saint-Aignan de Grand Lieu, du 01/01/2022 au 30/06/2022 avec parallèlement des mesures en zone urbaine non-influencée, quartier de la Chauvinière. Une multiplication des mesures a également été décidée par la DGAC avec la mise en place d'un second site de mesure dans l'environnement de l'aéroport pour des campagnes de 3 mois chacune à compter du 06/04/2022, avec comme premier emplacement, l'école Jules d'Herbauges de Saint-Aignan de Grand Lieu.

Objectifs

L'objectif de la campagne comprenant les mesures des 6 premiers mois de 2022 est double :

- Évaluer les concentrations de particules ultrafines :
 - en zone urbaine non-influencée par l'aéroport
 - en zone habitée, dans l'environnement de l'aéroport, au sud sud-ouest de la piste
- Étudier l'influence du trafic aérien sur les niveaux de concentrations en particules ultrafines

Dispositifs : trois analyseurs de type SMPS

Trois analyseurs ont été utilisés durant la campagne : le premier a été placé dans le quartier de la Chauvinière à Nantes, afin de mesurer les concentrations en particules ultrafines en zone urbaine non-influencée par l'aéroport.

Le second analyseur a été disposé en zone habitée proche de l'aéroport, aux Chais des Treilles à Saint-Aignan de Grand Lieu, à environ 2 km au sud sud-ouest de la piste.

Enfin, le troisième analyseur a été placé à l'école Jules d'Herbauges, à 2,8 km au sud sud-ouest de la piste de l'aéroport, d'avril à juin 2022, les trois mois faisant l'objet de l'intensification des mesures.

Résultats : en zone urbaine

Les concentrations mesurées en zone urbaine quartier de la Chauvinière durant la première moitié de 2022 ont été comparées à celles de 2021 à la même période :

- On retrouve également en 2022, les deux élévations des concentrations dans la journée en période de chauffage. La première, visible en début de matinée, est attribuée aux trajets domicile-travail. La seconde, visible en fin de soirée, est attribuée au chauffage. Cette dernière n'est pas visible durant la période d'avril à juin, suggérant des émissions liées au chauffage plus faibles, en lien avec des températures plus chaudes.
- Les concentrations moyennes et médianes ont augmenté respectivement de 13 % et 21 % entre 2021 et 2022 en zone urbaine. Ces augmentations sont attribuées à la production de particules ultrafines par photochimie, production plus propice en 2022 qu'en 2021 du fait des températures plus élevées en 2022.

Résultats : à proximité de l'aéroport

Les mesures enregistrées sur le site du Chais des Treilles à Saint-Aignan de Grand Lieu ont montré :

- Des niveaux de pollution de fond et moyennes plus faibles qu'en zone urbaine sur les six mois de mesures.
- Des élévations de concentrations de particules inférieures à 20 nm d'une durée de 5 à 10 minutes en provenance de la piste de l'aéroport.
- Une corrélation entre les profils journaliers des concentrations et celui du nombre moyen de mouvements d'avions, lorsque les vents proviennent de la piste de l'aéroport.
- L'influence du trafic aérien sur les concentrations mesurées aux Chais des Treilles est estimée à 1,7 % du temps de la période considérée (janvier – juin 2022), comparable à celle calculée sur la période précédente (juin – décembre 2021).
- En termes de concentrations médianes, les six premiers mois de mesures (juin – décembre 2021) sont comparables aux six mois suivants (janvier – juin 2022).
- L'évolution mensuelle des concentrations aux Chais des Treilles (de juillet 2021 à juin 2022) montre des variations liées à la fois :
 - à la fréquence des vents de nord-est qui placent le site sous les vents de la piste, impactant les niveaux de particules les plus fines émises par le trafic aérien ;
 - et à la rigueur climatique qui conditionnent les émissions de chauffage, impactant les concentrations en particules dans la gamme allant approximativement de 50 nm à 150 nm.

Les mesures enregistrées sur le site de l'école Jules d'Herbauges à Saint-Aignan de Grand Lieu ont montré :

- Des niveaux de pollution de fond et moyens plus faibles qu'en zone urbaine à la Chauvinière mais plus élevés que sur le site du Chais des Treilles, plus proche de la piste.
- Des élévations de concentrations de particules inférieures à 20 nm d'une durée de 5 à 10 minutes en provenance de la piste de l'aéroport. La concentration moyenne et médiane de ces élévations pour la direction de 30°N ont diminué de 6 à 7 % entre le site du Chais des Treilles et le site d'Herbauges. L'influence du trafic aérien a été estimée à près de 1,6 % du temps à Herbauges.
- Une absence d'élévation des concentrations par vent de 20°N en raison d'une zone boisée entre la piste et l'analyseur, entraînant les particules à se déposer.

Conclusion et perspectives

L'ensemble de ces résultats permet de confirmer un impact du trafic aérien sur les concentrations en particules ultrafines mesurées à 2 et 2.8 km au sud sud-ouest de la piste de l'aéroport. L'influence moyenne du trafic aérien est 6 à 7 % plus faible sur le site de l'école Jules d'Herbauges par rapport au site du Chais des Treilles, en lien avec la distance à la piste. Cette influence du trafic aérien est estimée à moins de 2 % du temps sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu.

La poursuite de l'étude va permettre de comparer des mesures en proximité trafic avec des mesures à La Ranjonnière ainsi qu'au cimetière des Couëts à Bouguenais, deux sites se trouvant respectivement à 500 m et 2 km au nord-est de la piste, à proximité de son axe. De plus, des mesures désaxées par rapport à la piste sont prévues à Pont Saint-Martin à l'automne et à l'hiver 2022.

Introduction

Les particules ultrafines sont des particules de diamètres inférieures à 100 nm. Elles constituent une pollution dite émergente puisque la surveillance de ces particules est nouvelle 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'Etat 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 deux ans. La campagne 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 rapport présente les résultats de la troisième campagne de suivi des particules ultrafines, entre le 01/01/2022 et le 30/06/2022, avec en premier lieu les résultats des mesures en zone urbaine mises en perspective avec les mesures ayant eu lieu sur le même site et à la même période en 2021. La seconde partie du rapport est consacrée aux résultats de mesures dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique à Saint-Aignan de Grand Lieu. Enfin, la troisième partie du rapport est quant à elle consacrée à l'impact du trafic aérien sur les concentrations mesurées à proximité de l'aéroport, trafic aérien dont le nombre moyen de vols journalier est resté stable durant la période d'étude par comparaison à la période précédente, avec 117 vols par jour en moyenne sur la période allant du 01/01/2022 au 30/06/2022 contre 113 vols par jour sur la période s'étendant du 23/06/2021 au 31/12/2021.

Dispositif de mesure

Sites de mesure

Cette campagne a consisté en des mesures à trois emplacements, entre le 1^{er} janvier 2022 et le 30 juin 2022. Le premier site se trouve en zone urbaine non-influencée par l'aéroport, quartier de la Chauvinière à Nantes et est considéré comme site de référence. Le second site se trouve aux Chais des Treilles à Saint-Aignan de Grand Lieu, en zone habitée, à 2 km au sud sud-ouest de l'extrémité sud de la piste de l'aéroport, proche de l'axe de celle-ci. Les mesures sur ces deux sites ont été réalisées en continu, sur l'ensemble des 6 mois de la période d'étude.

Une multiplication des mesures de PUF a été décidée par la DGAC, avec la mise en place d'un analyseur additionnel, pour des campagnes de trois mois chacune. Ainsi, un troisième analyseur a été installé à partir d'avril 2022 jusqu'à fin juin 2022 à l'école Jules d'Herbauges de Saint-Aignan de Grand Lieu, à 2,8 km de la piste, toujours à proximité de l'axe de celle-ci. L'idée étant de pouvoir estimer la décroissance des concentrations avec l'augmentation de la distance à la piste, pour les mêmes panaches de pollution.

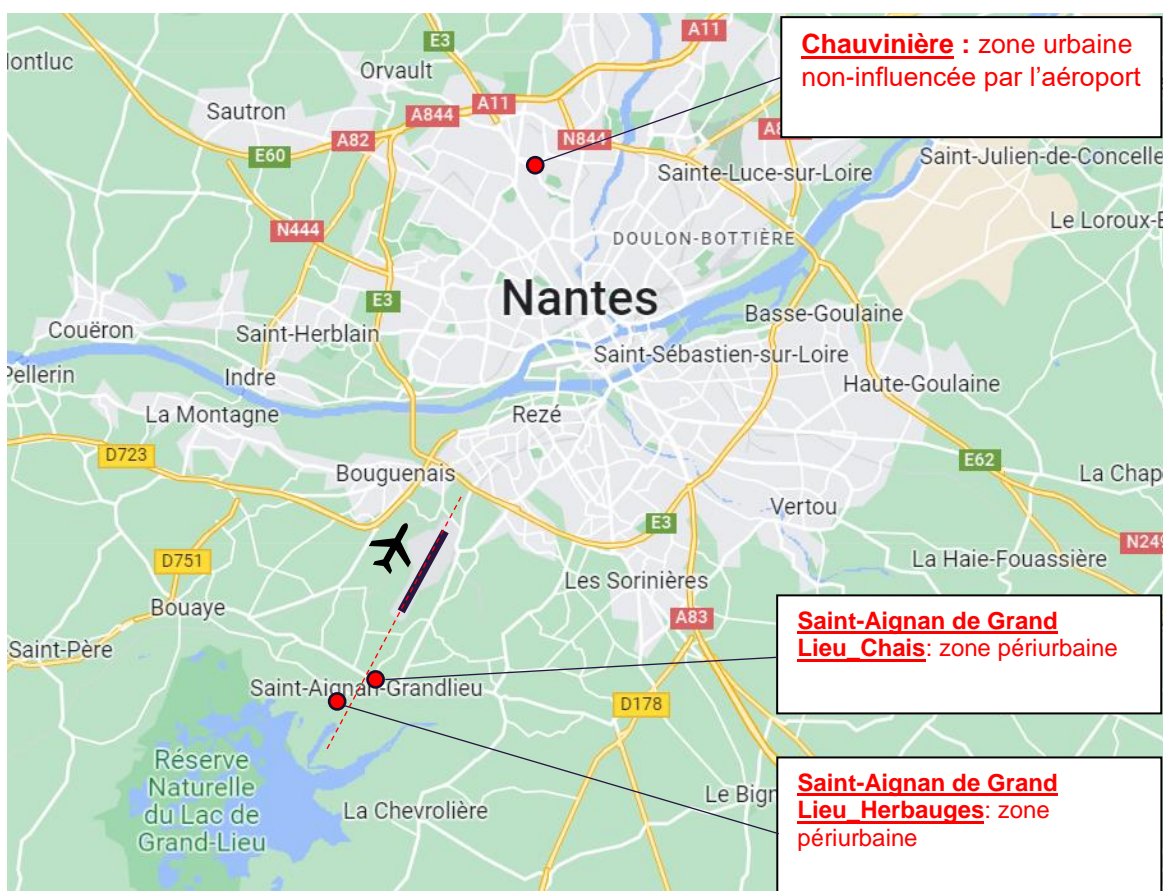


Figure 1 : emplacements des différents sites de mesure des particules ultrafines (source : Google maps)

L'axe piste-analyseur de Saint-Aignan de Grand Lieu_Chais est orienté à 25°N alors que l'axe piste-analyseur de Saint-Aignan de Grand Lieu_Herbauges est orienté à 33°N. La piste de l'aéroport de Nantes-Atlantique est orientée à 027/207°N géographique¹.

¹ Orientation 028/208°N magnétique avec déclinaison 008°W

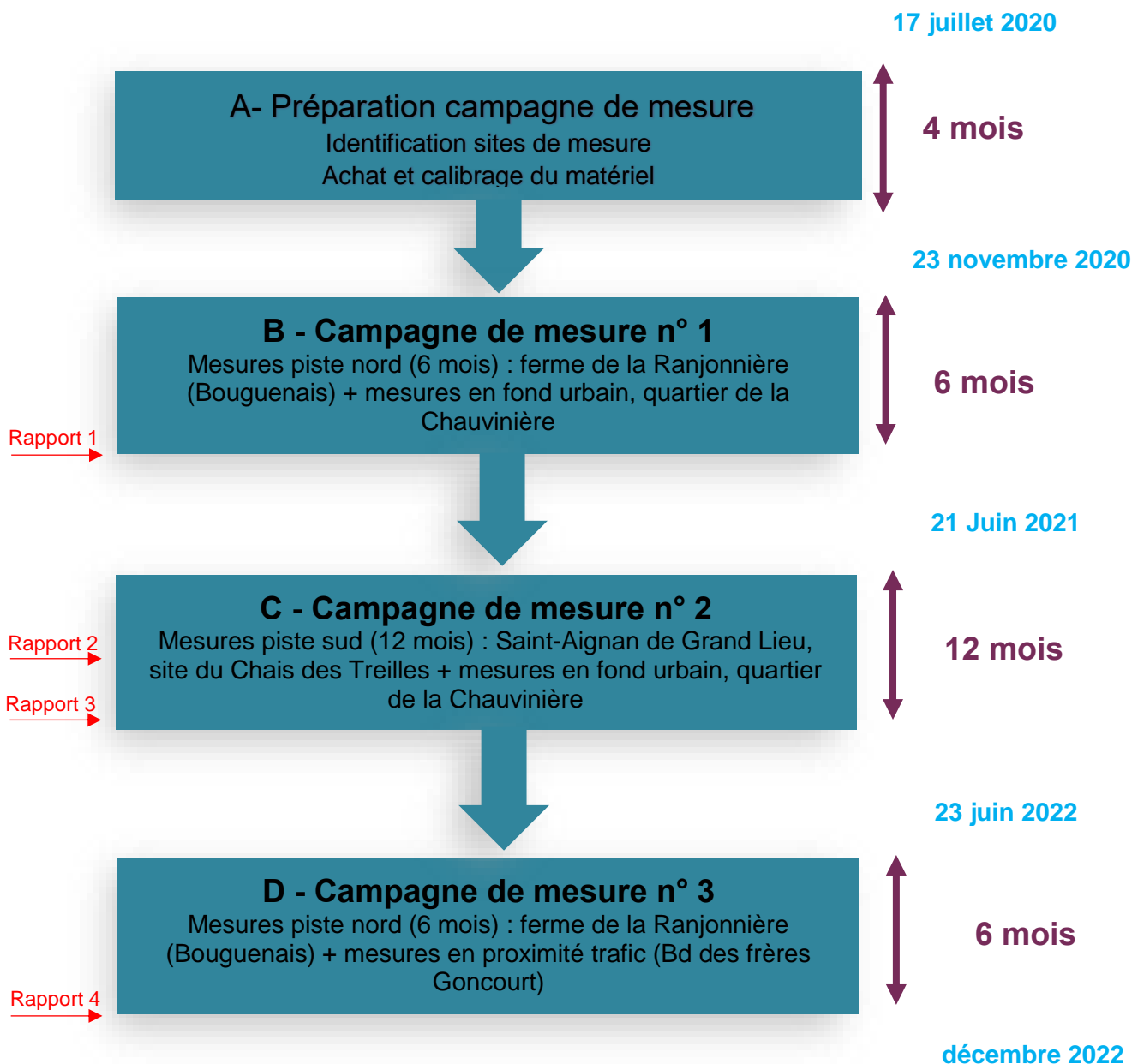


Figure 2 : déroulé initial de la campagne de mesure des particules ultrafines

Une intensification des mesures a été prévue avec l'ajout d'un second analyseur à l'école Jules d'Herbauges de Saint-Aignan de Grand Lieu* pour une période de 3 mois.

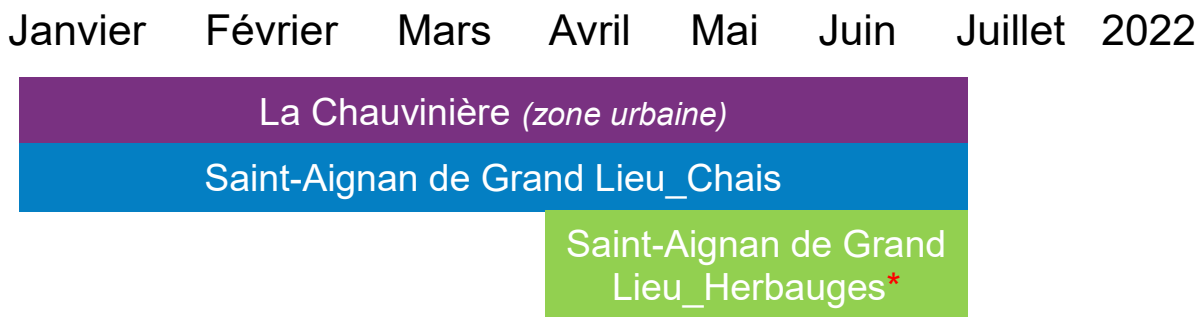


Figure 3 : déroulé de la seconde phase de la campagne de mesure n° 2

Résultats

Les résultats présentés dans ce chapitre se concentrent sur la période du 01/01/2022 au 30/06/2022, avec un premier SMPS se trouvant en zone urbaine, quartier de la Chauvinière à Nantes, en zone non-influencée par l'aéroport. Le second SMPS est à Saint-Aignan de Grand Lieu sur le site du Chais des Treilles, à 2 km de la piste de l'aéroport. Enfin, un troisième SMPS a été installé durant trois mois, du 06/04/2022 au 30/06/2022 à Saint-Aignan de Grand Lieu sur le site de l'école Jules d'Herbauges, à 2,8 km de la piste de l'aéroport. Les deux SMPS de Saint-Aignan de Grand Lieu sont proches de l'axe de la piste.

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.

De façon générale, 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 quarts-horaires. 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.

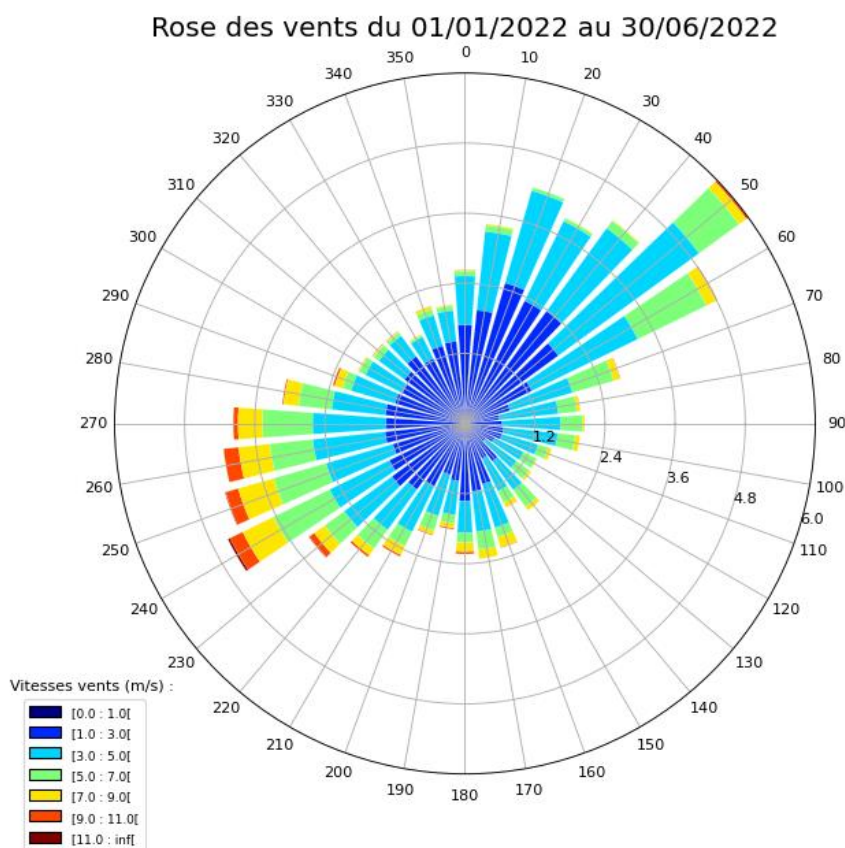


Figure 4 : rose des vents à Nantes-Atlantique lors de la période d'étude

Les vents mesurés lors de l'étude sont essentiellement des vents de nord-est et d'ouest sud-ouest, avec des vitesses de vent en majorité inférieures à 5 m/s.

Mesures en zone urbaine

L'évolution temporelle des concentrations mesurées en zone urbaine est présentée ci-dessous :

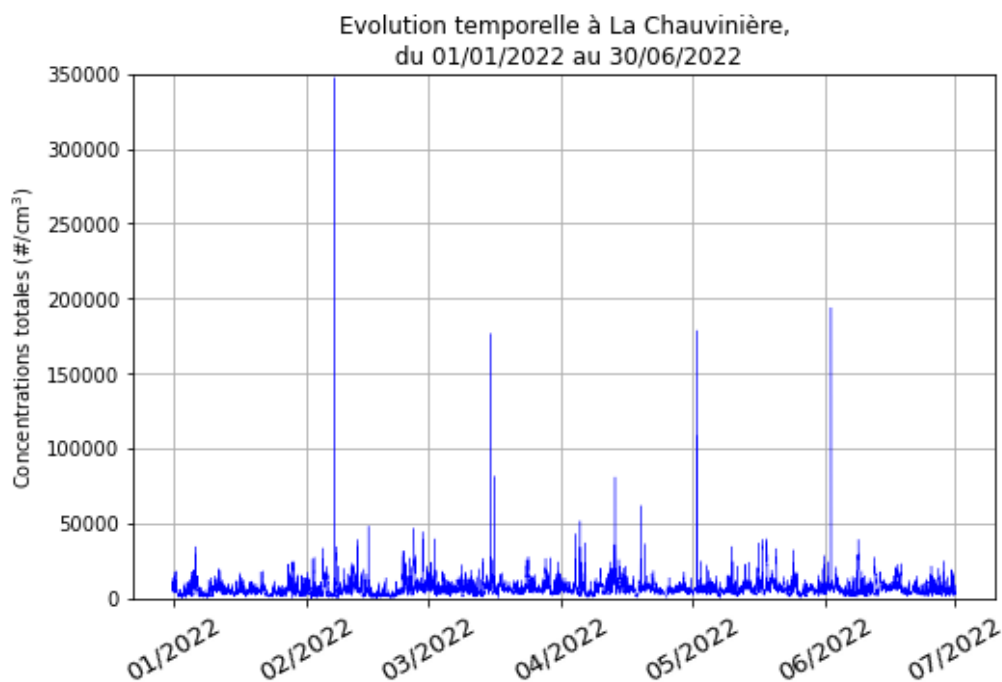


Figure 5 : évolution temporelle des concentrations en zone urbaine sur le site de la Chauvinière, du 01/01/2022 au 30/06/2022

On remarque peu d'élévations fortes des concentrations en zone urbaine, à la Chauvinière sur les 6 mois de la période d'étude. Quatre élévations de 5 à 10 minutes se distinguent cependant les 07/02, 15/03, 02/05 et 02/06, avec des concentrations supérieures à $150\,000\ P/cm^3$, où l'on a retrouvé simultanément des élévations de concentrations en oxydes d'azote pour trois d'entre elles. Ces élévations de concentrations en oxydes d'azote mesurées simultanément aux élévations de PUF suggèrent une pollution ponctuelle provoquée par du trafic routier à proximité immédiate.

Le taux de validité des mesures est de 99,2 %.

Le boxplot des concentrations mesurées à la Chauvinière est présenté ci-dessous. Celui de l'année dernière sur la même période est également tracé afin de mettre en perspective les résultats de mesures de cette année.

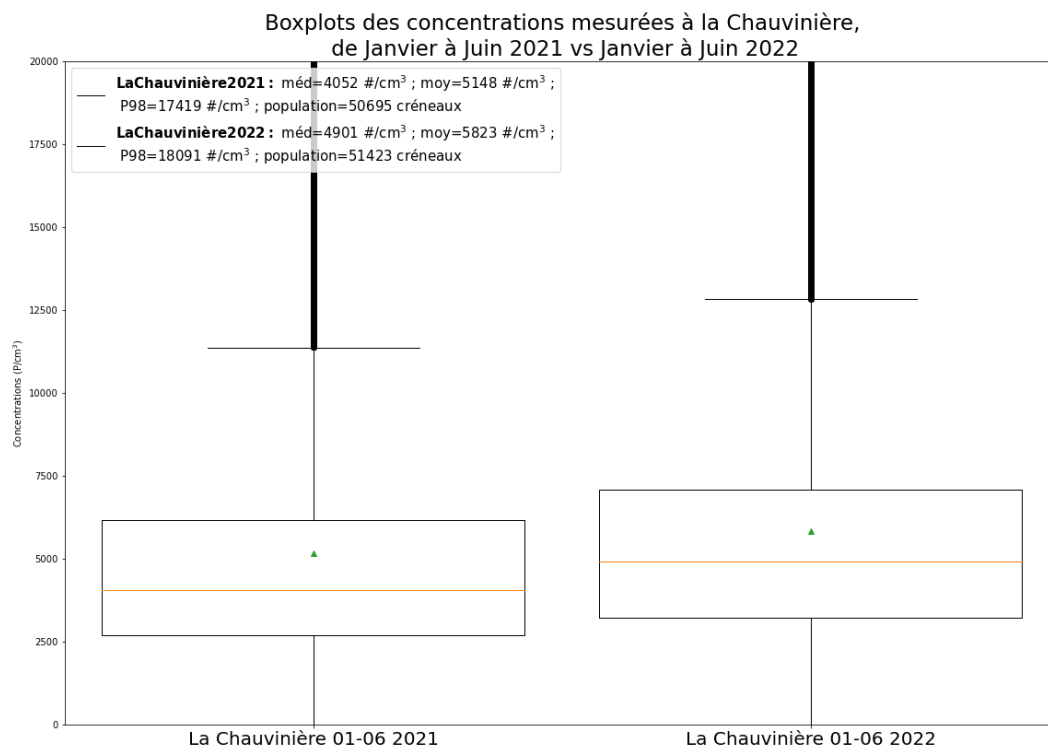


Figure 6 : boxplots des concentrations en zone urbaine sur le site de la Chauvinière, de janvier à juin 2021 et 2022

On retrouve en 2022 une moyenne des concentrations de 5 800 P/cm³ contre 5 150 P/cm³ en 2021, ce qui fait une augmentation des concentrations moyennes de 13 % entre les six premiers mois de 2021 et de 2022. Les médianes des concentrations en 2021 et en 2022 sont respectivement de 4 050 P/cm³ contre 4 900 P/cm³ ce qui représente une augmentation de 21 % des concentrations médianes entre 2021 et 2022 indiquant des concentrations de fond plus élevées en 2022 qu'en 2021. Enfin, le percentile 98 était de 17 400 P/cm³ en 2021 contre 18 100 P/cm³ en 2022 ce qui représente une augmentation de près de 4 % des concentrations de pointe. Ainsi, les niveaux de pointe n'ont que peu augmenté entre la première moitié de l'année 2021 et la première moitié de l'année 2022, contrairement aux concentrations moyennes et médianes.

Les boxplots sans limite d'échelle sont présentés ci-dessous :

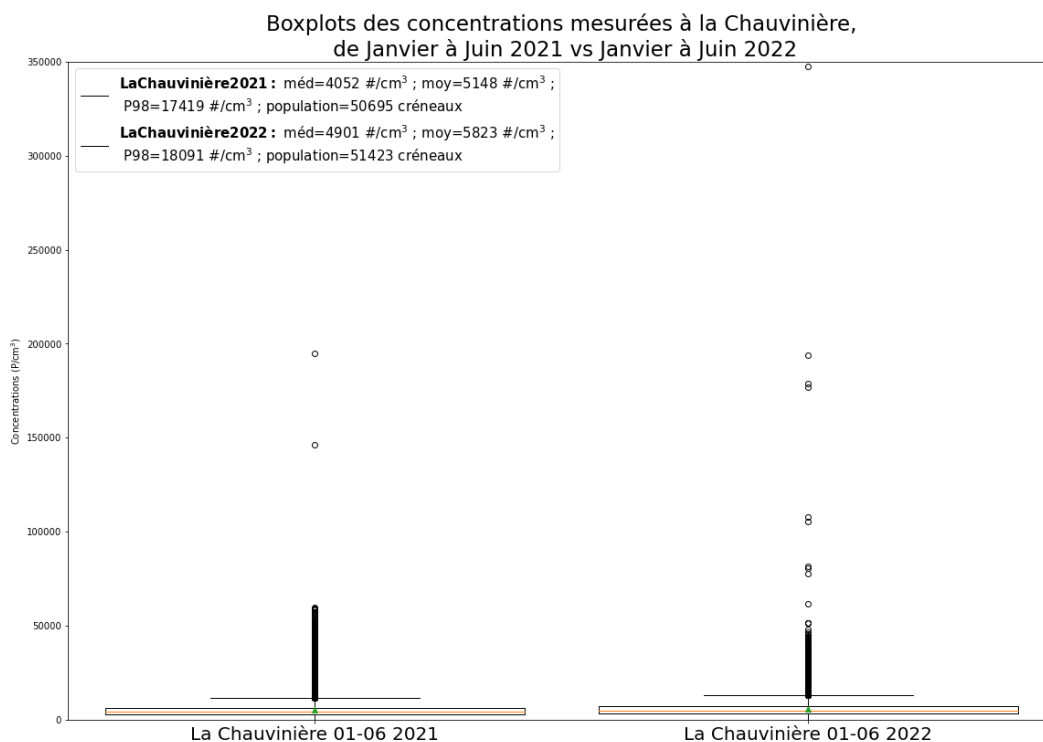


Figure 7 : boxplots des concentrations en zone urbaine sur le site de la Chauvinière, de janvier à juin 2021 et 2022, sans limite d'échelle

On y retrouve les quelques élévations de concentrations parasites associées aux élévations de NO, suggérant une pollution ponctuelle à proximité immédiate liée au trafic automobile.

Les distributions granulométriques moyennes de la première moitié de 2021 et de 2022 sont présentées dans la figure suivante. Ce sont les concentrations moyennes mesurées pour chaque diamètre de particules.

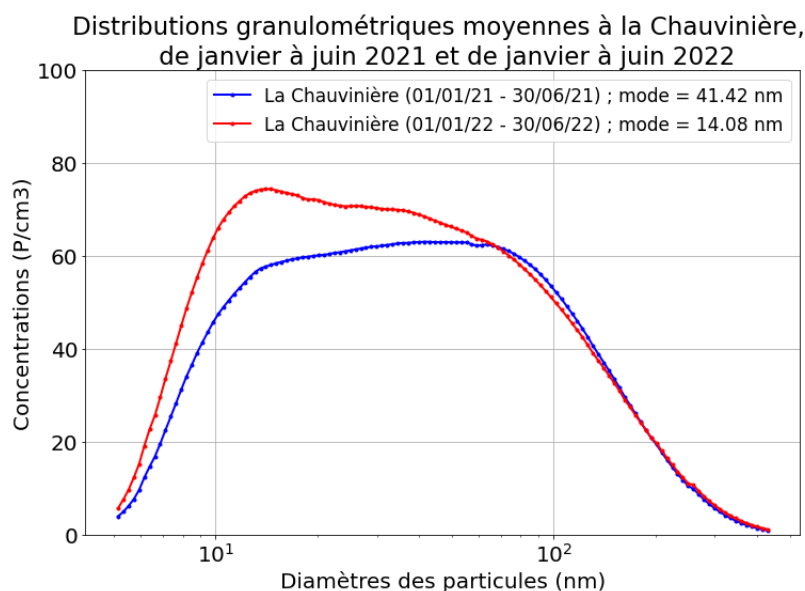


Figure 8 : distributions granulométriques à la Chauvinière, les six premiers mois de 2021 et de 2022

On retrouve en 2021 une distribution assez équilibrée avec deux modes qui ne se distinguent que difficilement. Le mode principal est autour de 40 nm tandis que le mode secondaire se trouve autour de 20 nm.

En 2022, le mode principal se distingue clairement à 14 nm et on en devine un autre autour de 40 nm. On remarque que ce sont essentiellement les particules inférieures à 50 nm qui ont provoqué l'augmentation des concentrations entre 2021 et 2022.

Les profils journaliers des concentrations représentent l'évolution moyenne des concentrations dans une journée type. Ils sont tracés sous forme de heatmap, avec le dégradé de couleurs représentant les concentrations, les heures de la journée sont représentées en abscisse et les diamètres des particules en ordonnée.

On retrouve deux tâches de concentrations plus importantes, une le matin entre 7h et 9h pour des particules entre 5 nm et 70 nm et une autre le soir, entre 18h et 23h pour l'essentiel, dans une gamme de tailles plus élevées, entre 5 nm et 130 nm, et s'étendant dans la nuit jusqu'à 1h à 2h du matin. On remarque une forme similaire entre 2021 et 2022 mais avec des concentrations plus élevées en 2022, essentiellement en milieu de journée pour des diamètres de particules inférieures à 20 nm.

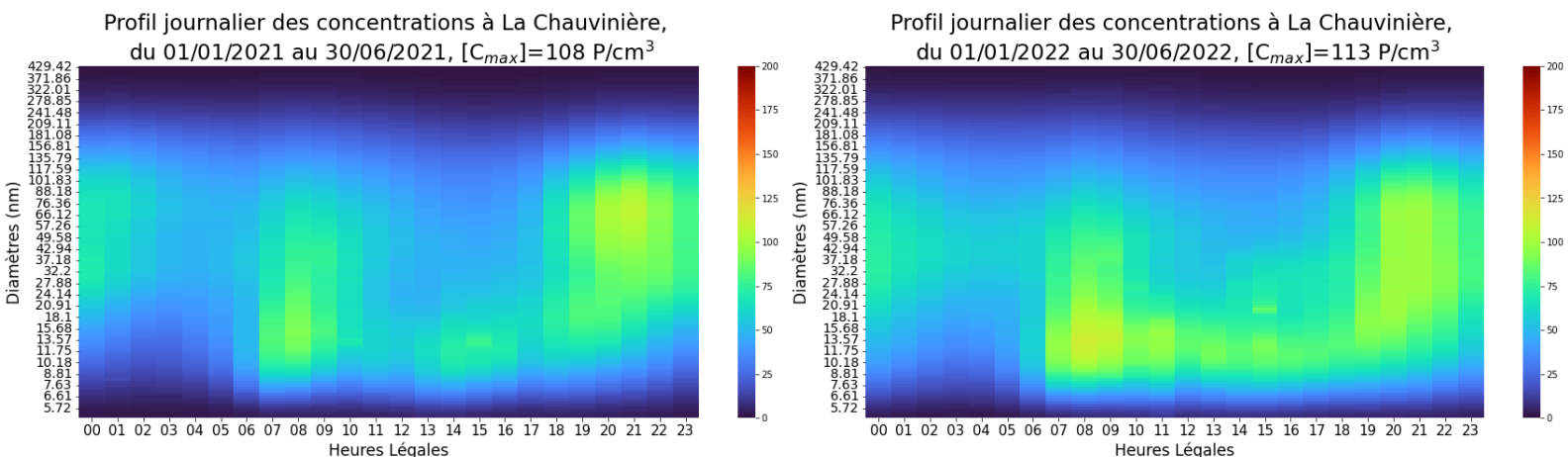


Figure 9 : profils journaliers 3D des concentrations, les six premiers mois de 2021 et de 2022

Cette différence de niveaux de concentrations en journée entre 2021 et 2022 s'expliquerait par la formation d'aérosols secondaires par photochimie, essentiellement dans les diamètres inférieurs à 20 nm. En effet, l'année 2022 a connu à Nantes des températures plus élevées qu'en 2021, favorisant la production d'aérosols secondaires à partir du mois d'avril comme le montre la figure suivante.

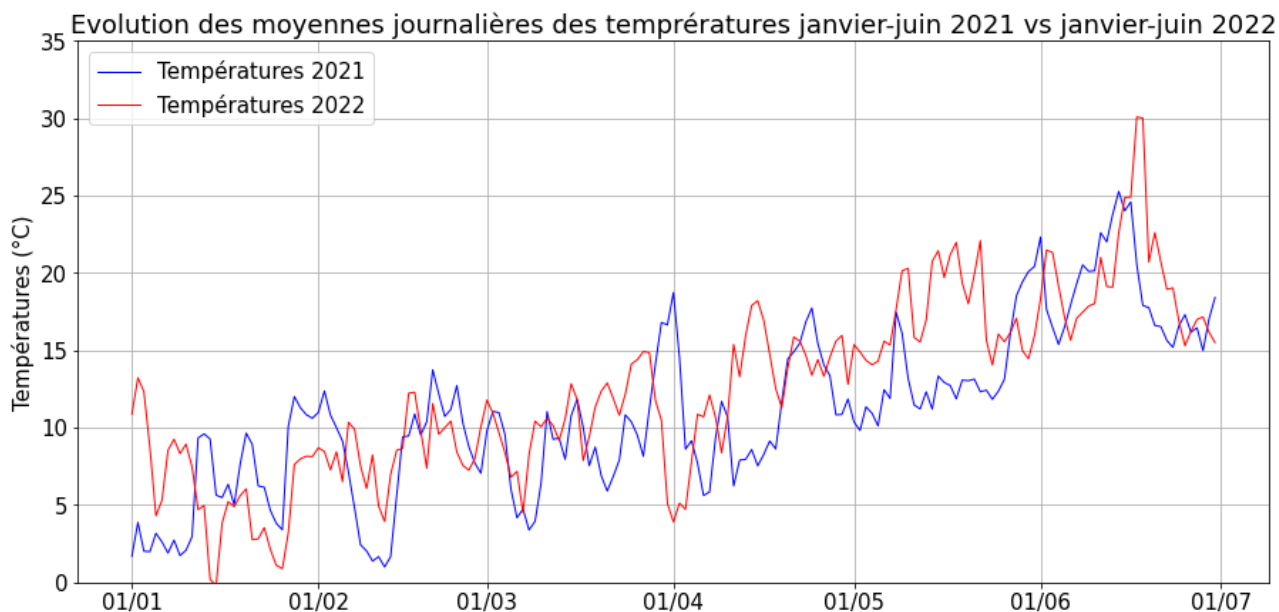


Figure 10 : évolutions temporelles des températures à Nantes, les six premiers mois de 2021 et de 2022

En outre, la décomposition des deux profils précédents en deux périodes allant du 1^{er} janvier au 31 mars et du 1^{er} avril au 30 juin, période plus propice à la photochimie, est présentée ci-après :

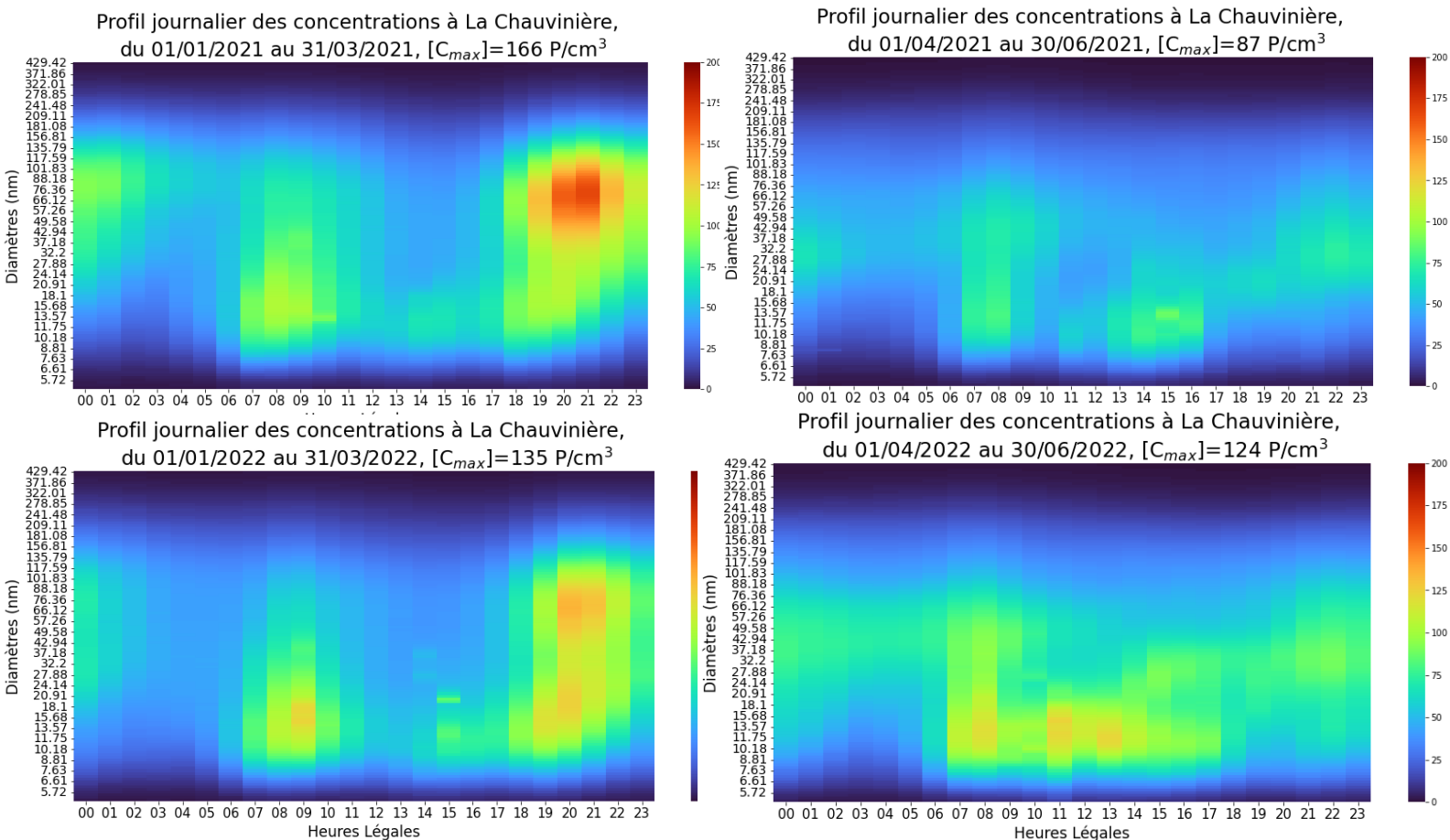


Figure 11 : profils journaliers 3D des concentrations à la Chauvinière, décomposés en deux périodes distinctes

Cette décomposition nous apprend que les profils journaliers étaient très similaires entre le premier quart de 2021 et de 2022. On remarque tout de même des concentrations plus élevées le soir, entre 40 nm et 130 nm, indiquant des émissions liées au chauffage plus élevées en 2021 qu'en 2022. Les profils tracés entre avril et juin indiquent quant à eux des concentrations en journée plus élevées en 2022 qu'en 2021, en lien avec la production par photochimie plus intense durant le printemps 2022.

La figure suivante présente le profil journalier des concentrations par classe granulométrique, décomposé en jours ouvrés, samedi et dimanche :

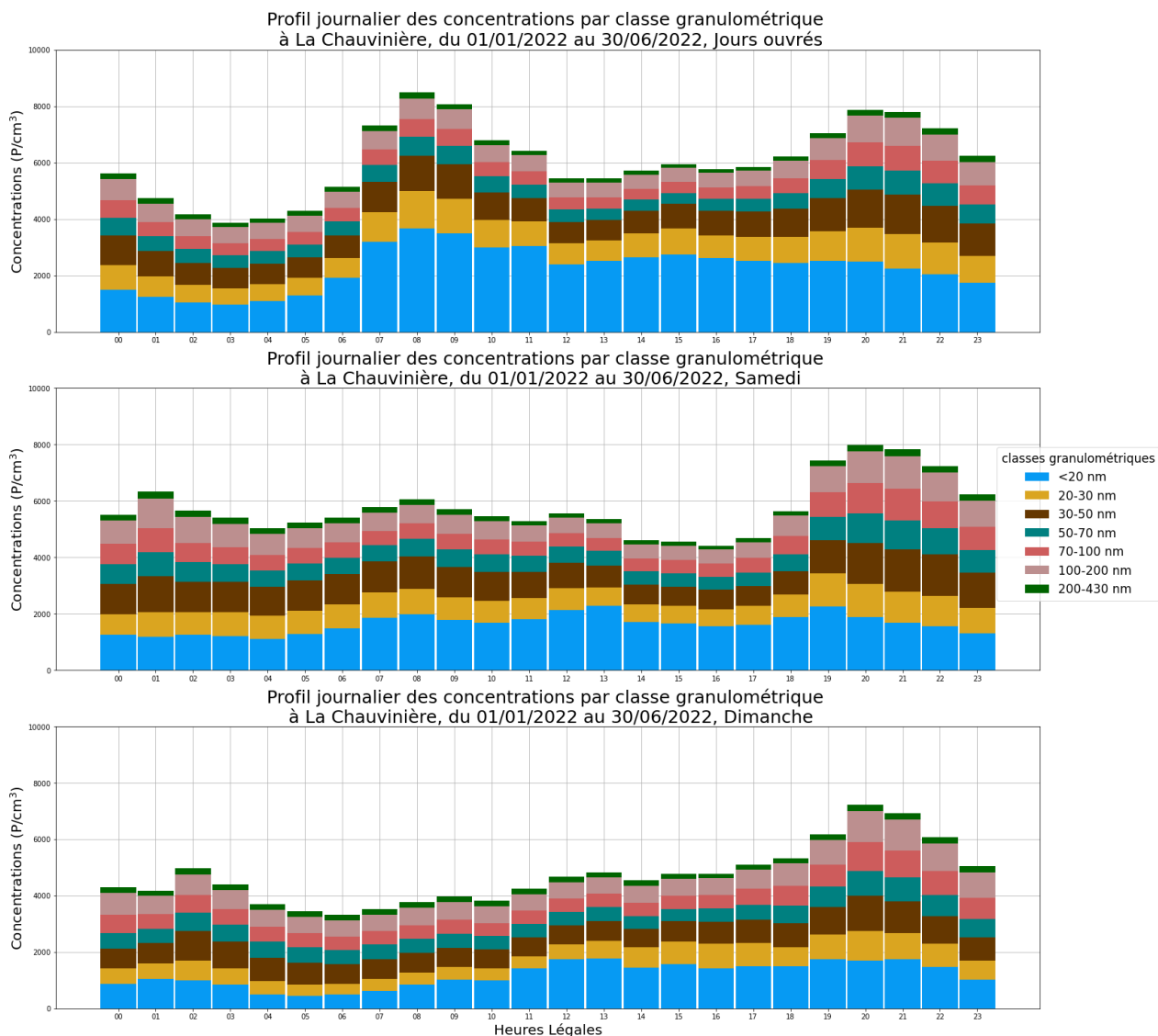


Figure 12 : profil journalier des concentrations à La Chauvinière, par classe granulométrique, décomposé en jours ouvrés, samedi et dimanche

On retrouve en semaine les deux élévations de concentrations de la journée avec l'élévation du matin qui est provoquée par l'augmentation des concentrations de particules issues de la première classe (< 20 nm) ainsi que des classes 2 (20-30 nm) et 3 (30-50 nm) dans une moindre mesure. L'élévation du soir est quant à elle plus longue et n'est pas provoquée par les variations des particules issues de la première classe (< 20 nm) mais essentiellement des classes 2 à 6 (20-200 nm).

L'élévation du matin disparaît le week-end alors que celle du soir reste bien présente. L'élévation du matin est donc attribuée aux trajets domicile-travail, trajets n'ayant lieu qu'en semaine dans la vaste majorité des cas, alors que celle du soir est attribuée à la somme des émissions issues des trajets travail-domicile mais également, et de manière prépondérante, aux émissions issues du chauffage.

Mesures dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique : sites du Chais des Treilles et d'Herbauges

Ce chapitre est dédié à la caractérisation des sites situés dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique. Le premier site est celui du Chais des Treilles de Saint-Aignan de Grand Lieu, situé à 2 km au sud sud-ouest de la piste et sera mis en perspective avec les mesures de référence en zone urbaine, quartier de la Chauvinière dans la première partie du chapitre. La période d'étude s'étend du 01/01/2022 au 30/06/2022.

Le second site se trouve à l'école Jules d'Herbauges de Saint-Aignan de Grand Lieu et est situé à 2.8 km au sud sud-ouest de la piste. La période d'étude pour ce second site va du 06/04/2022 au 30/06/2022. C'est la période durant laquelle les trois analyseurs étaient en fonctionnement. Les trois sites seront ainsi comparés dans la seconde partie de ce chapitre.

Comparaison du site du Chais des Treilles avec la Chauvinière, du 01/01/2022 au 30/06/2022

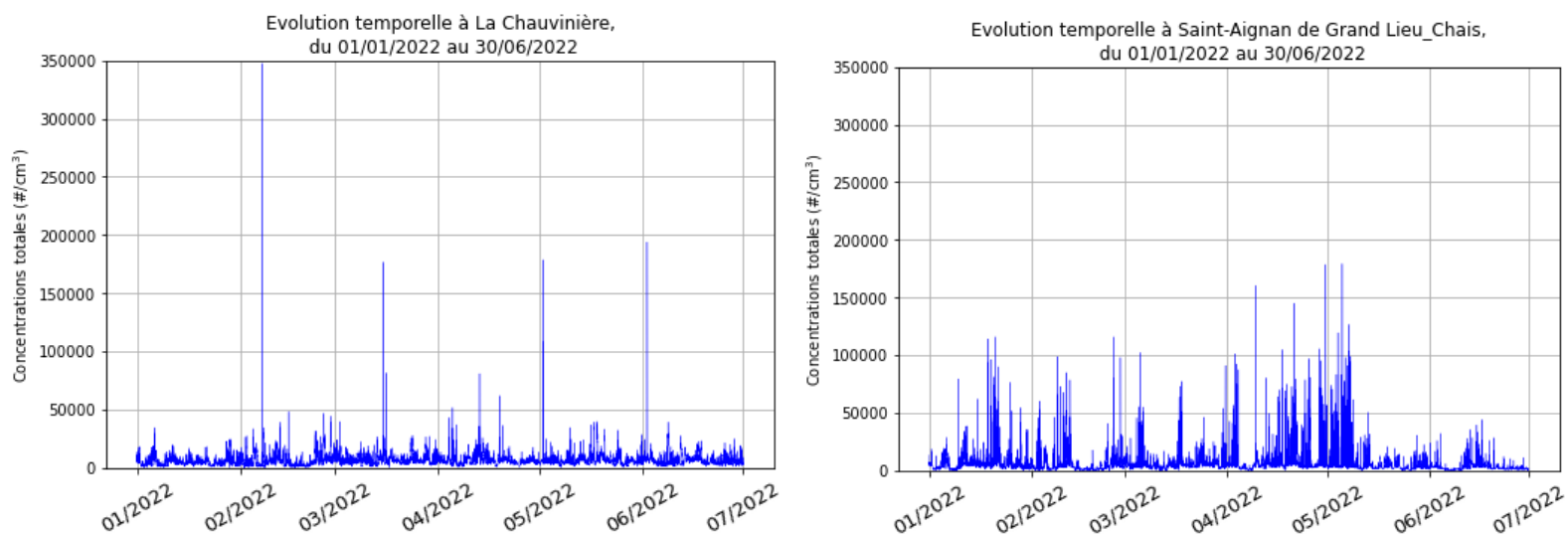


Figure 13 : évolutions temporelles des concentrations à la Chauvinière (à gauche) et à Saint-Aignan de Grand Lieu site du Chais des Treilles (à droite), les six premiers mois de 2022

L'évolution temporelle des concentrations mesurées aux Chais des Treilles à Saint-Aignan de Grand Lieu montre de nombreuses élévations de concentrations ponctuelles dépassant régulièrement les 50 000 P/cm³. Ces élévations de concentrations ne durent généralement que 5 à 10 minutes.

Les boxplots zoomés et sans limite d'échelle des mesures issues du premier site de Saint-Aignan de Grand Lieu sont présentés ci-dessous :

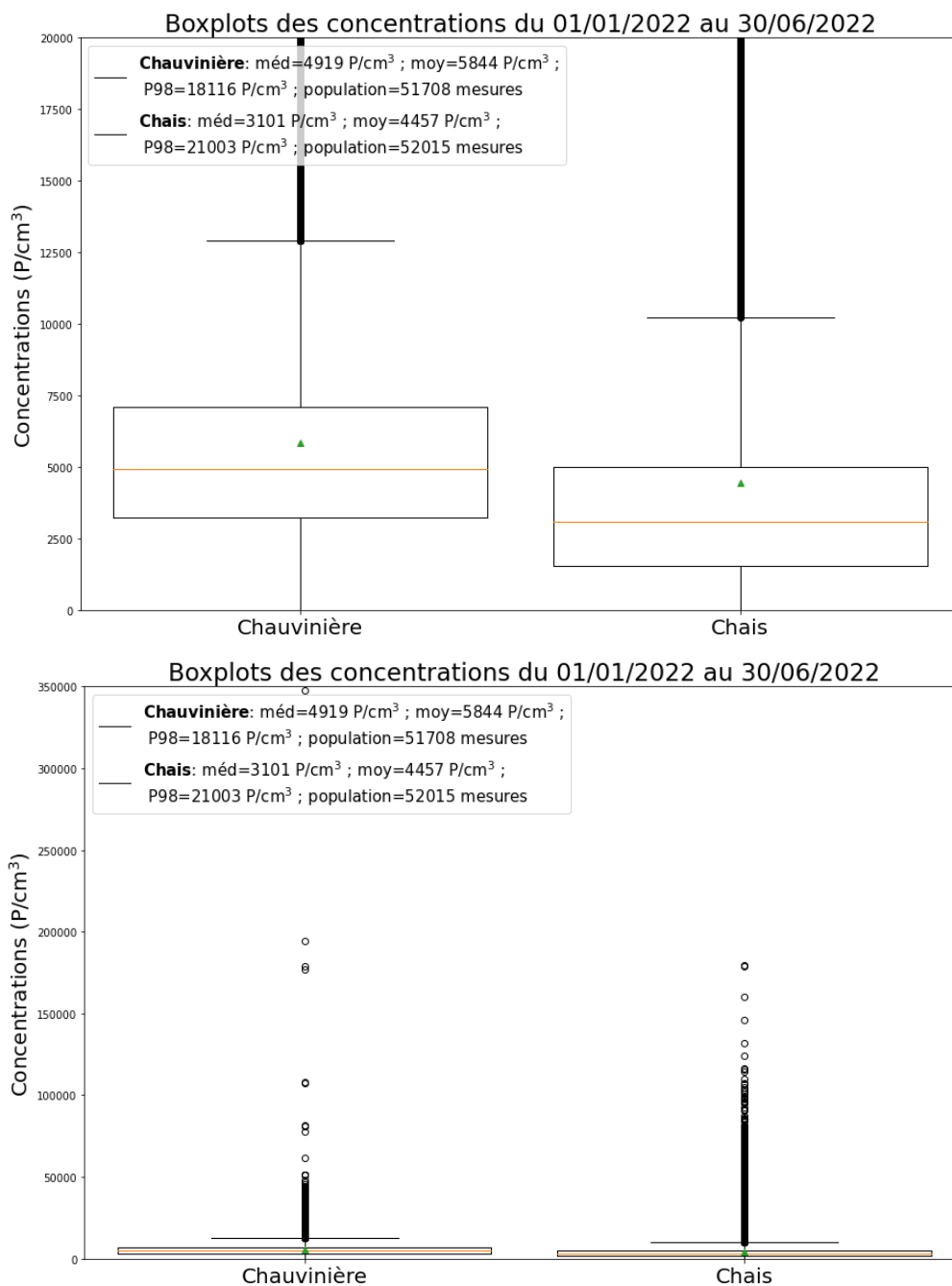
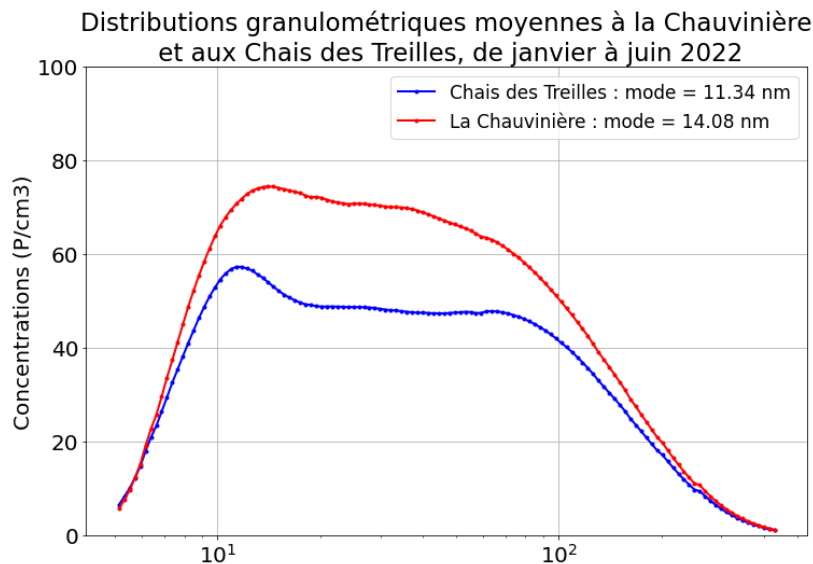


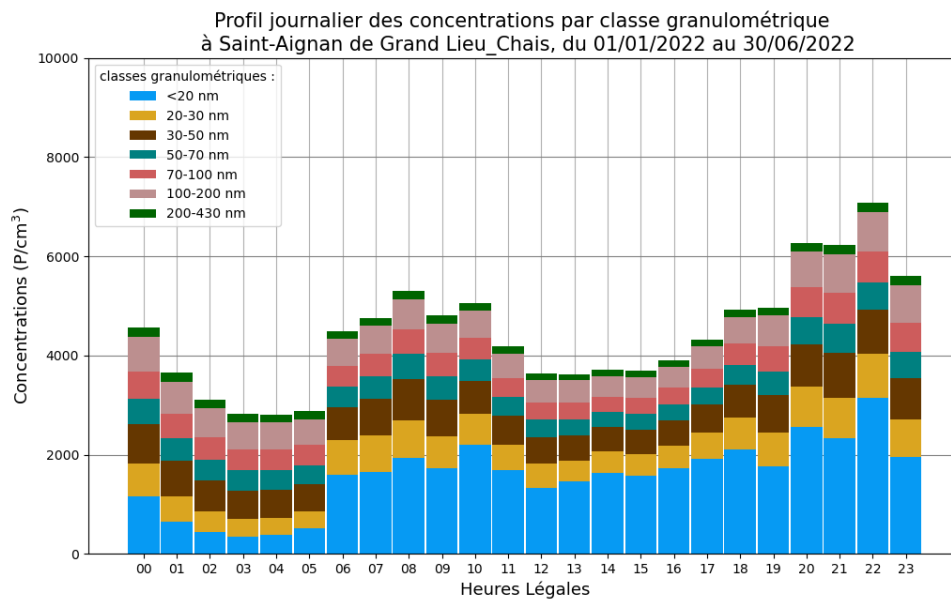
Figure 14 : boxplots des concentrations à la Chauvinière et aux Chais des Treilles, les six premiers mois de 2022

On retrouve une médiane de 3 100 P/cm³ aux Chais contre 4 900 P/cm³ en zone urbaine, indiquant des concentrations de fond plus élevées en zone urbaine à la Chauvinière qu'en zone périurbaine aux Chais des Treilles. Les concentrations moyennes mesurées à 2 km de l'aéroport sont de 4 450 P/cm³ contre 5 850 P/cm³ en zone urbaine. Ainsi, les concentrations moyennes mesurées en zone urbaine sont également plus élevées qu'en zone périurbaine et ce, malgré les nombreuses élévations de concentrations enregistrées sur le site du Chais des Treilles. Enfin, on notera des niveaux de pointe plus élevés aux Chais des Treilles qu'en zone urbaine, avec un percentile 98 de 21 000 P/cm³ contre 18 100 P/cm³ en zone urbaine, ce que l'on peut aisément voir sur les boxplots non-zoomés, avec des concentrations plus nombreuses au-dessus de 50 000 P/cm³ aux Chais des Treilles.



Les distributions granulométriques moyennes des concentrations mesurées en zone urbaine ainsi qu'aux Chais des Treilles sont présentées ci-dessus. On y voit une distribution inférieure en termes de concentrations moyennes aux Chais des Treilles par comparaison à la zone urbaine pour les diamètres compris essentiellement entre 10 et 100 nm. On remarque cependant qu'il y a proportionnellement plus de particules inférieures à 20 nm aux Chais des Treilles qu'à la Chauvinière, avec un mode principal plus marqué à 11 nm qu'à 14 nm en zone urbaine.

Il paraît intéressant de tracer le profil journalier des concentrations mesurées sur le site des Chais :



On retrouve une augmentation brusque des concentrations à 6h, et ce, essentiellement dans la première classe (<20 nm). Les concentrations totales montrent une première élévation des concentrations le matin entre 6h et 11h. Les concentrations diminuent après 10h et se stabilisent entre 12h et 15h avant de réaugmenter de manière plus significative entre 16h et 22h. On remarque que ce sont particulièrement les particules issues de la première classe qui provoquent l'essentiel des variations de concentration dans la journée, ainsi que la seconde classe (20-30 nm) le matin, et que la variabilité des concentrations issues de la première classe est plus élevée sur le site du Chais des Treilles à 2 km de la piste de l'aéroport que sur le site de la Chauvinière en zone urbaine. On remarque cependant un impact des particules issues des classes 2 à 6 (20-200 nm) le soir, ce qui laisse penser à un impact du chauffage en fin de journée.

Une autre façon de voir les résultats est de tracer le profil journalier sous la forme d'une heatmap :

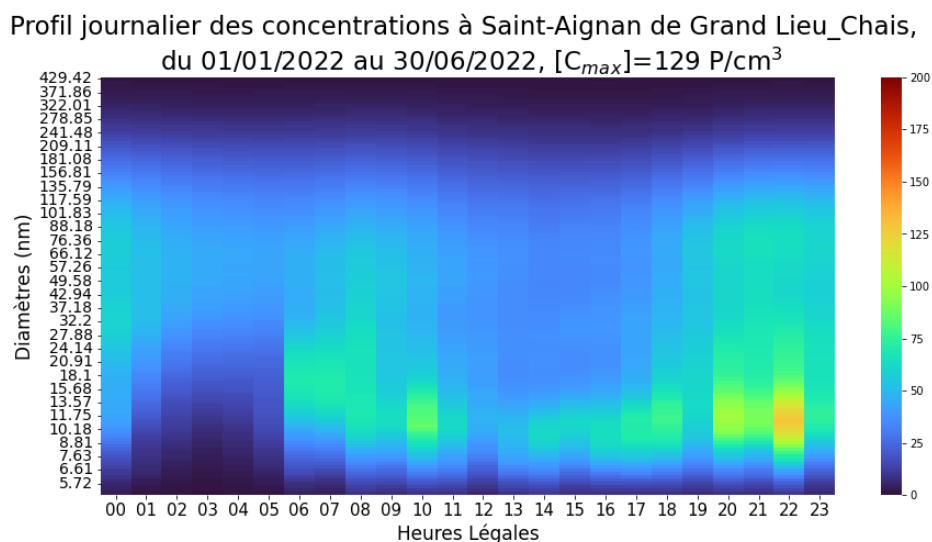


Figure 17 : profil journalier 3D des concentrations aux Chais des Treilles

On retrouve donc la bande de concentrations plus élevées à moins de 20 nm tout au long de la journée et inférieure à 30 nm le matin. On voit également que les concentrations augmentent brutalement le matin à partir de 6h et chutent brusquement après 23h. On voit également un léger impact du chauffage le soir et qui s'étend dans la nuit jusqu'à 1h.

Comparaison des sites d'Herbauges, du Chais des Treilles et de la Chauvinière, du 06/04/2022 au 30/06/2022

Les concentrations mesurées sur les trois sites sont présentées dans la figure suivante. L'élévation la plus élevée du site de l'école Jules d'Herbauges atteint les 350 000 P/cm³.

Évolutions temporelles des concentrations du 06/04/2022 au 30/06/2022

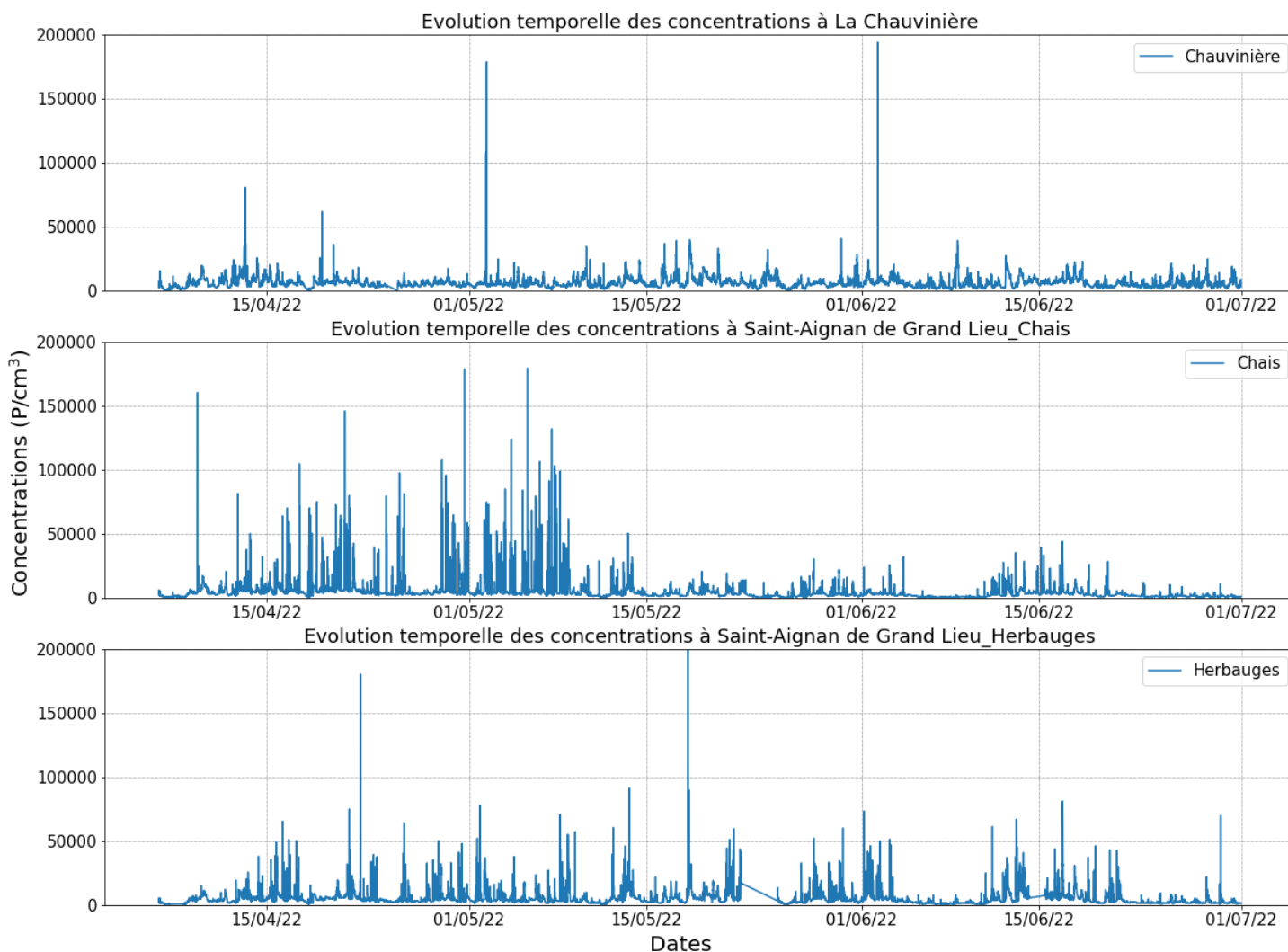


Figure 18 : évolutions temporelles des concentrations sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu et à la Chauvinière

On remarque que l'évolution des concentrations mesurées aux Chais des Treilles est caractérisée par un certain nombre d'élévations de concentrations qui ont eu lieu durant le premier tiers de la période d'étude. Les concentrations mesurées à l'école Jules d'Herbauges atteignent des valeurs plus faibles que celles du Chais des Treilles entre le début de la période et le 10 mai.

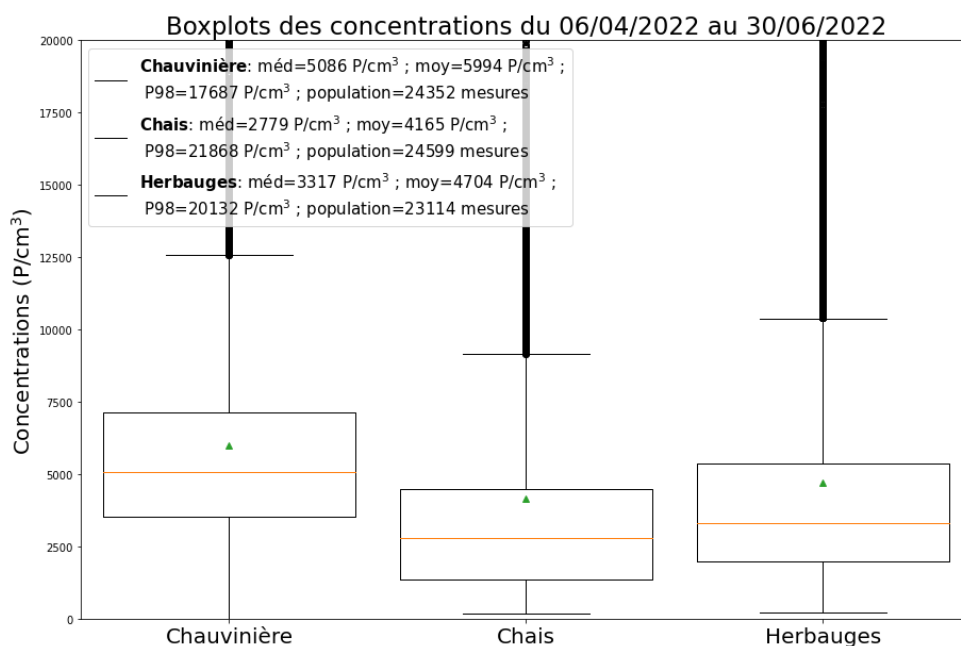


Figure 19 : boxplots des concentrations sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu et à la Chauvinière

Le boxplot de la Chauvinière est supérieur aux boxplots des deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu, avec une médiane des concentrations de 5 100 P/cm³ contre 2 800 P/cm³ et 3 300 P/cm³ respectivement aux Chais des Treilles et à l'école Jules d'Herbauges, indiquant des concentrations de fond plus élevées en zone urbaine. De même, la moyenne des concentrations est également plus élevée en zone urbaine avec une moyenne de 6 000 P/cm³ contre 4 150 P/cm³ aux Chais des Treilles et 4 700 P/cm³ à l'école Jules d'Herbauges. Les concentrations mesurées à 2,8 km de la piste sont donc également plus élevées en moyenne et en médiane que celles mesurées à 2 km de la piste.

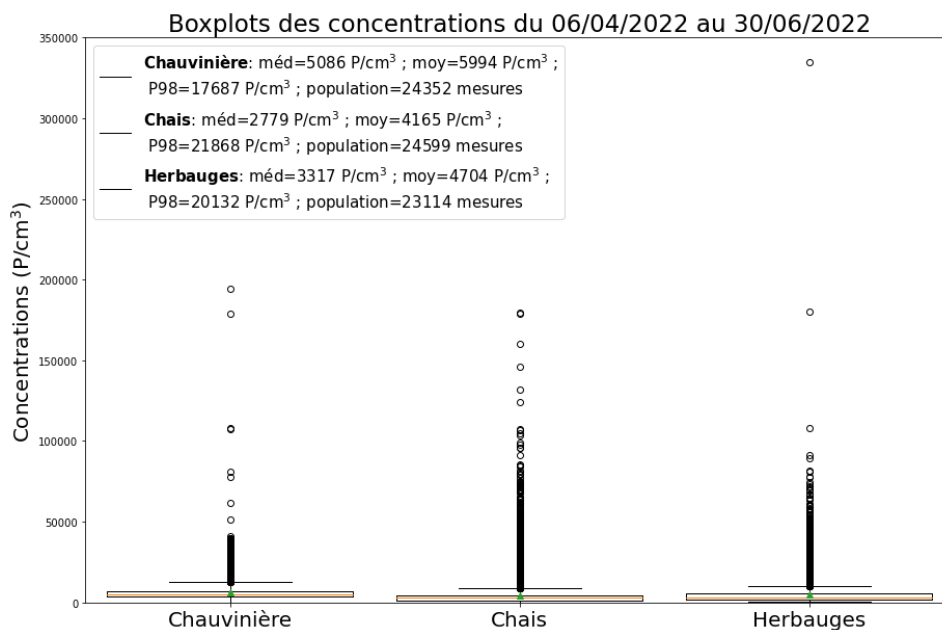


Figure 20 : boxplots sans limite d'échelle sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu et à la Chauvinière

En revanche, les percentiles 98 indiquent des niveaux de pointe plus élevés sur le site se trouvant à 2 km de la piste qu'à 2,8 km et qu'en zone urbaine. On retrouve des élévations de concentrations plus importantes sur le site du Chais des Treilles que sur le site de l'école Jules d'Herbauges. En outre, les sites de Saint-Aignan de Grand Lieu sont exposés 2 % du temps à des concentrations moyennes de l'ordre de 32 800 P/cm³ à Herbauges et de 39 300 P/cm³ aux Chais des Treilles contre 25 050 P/cm³ à la Chauvinière.

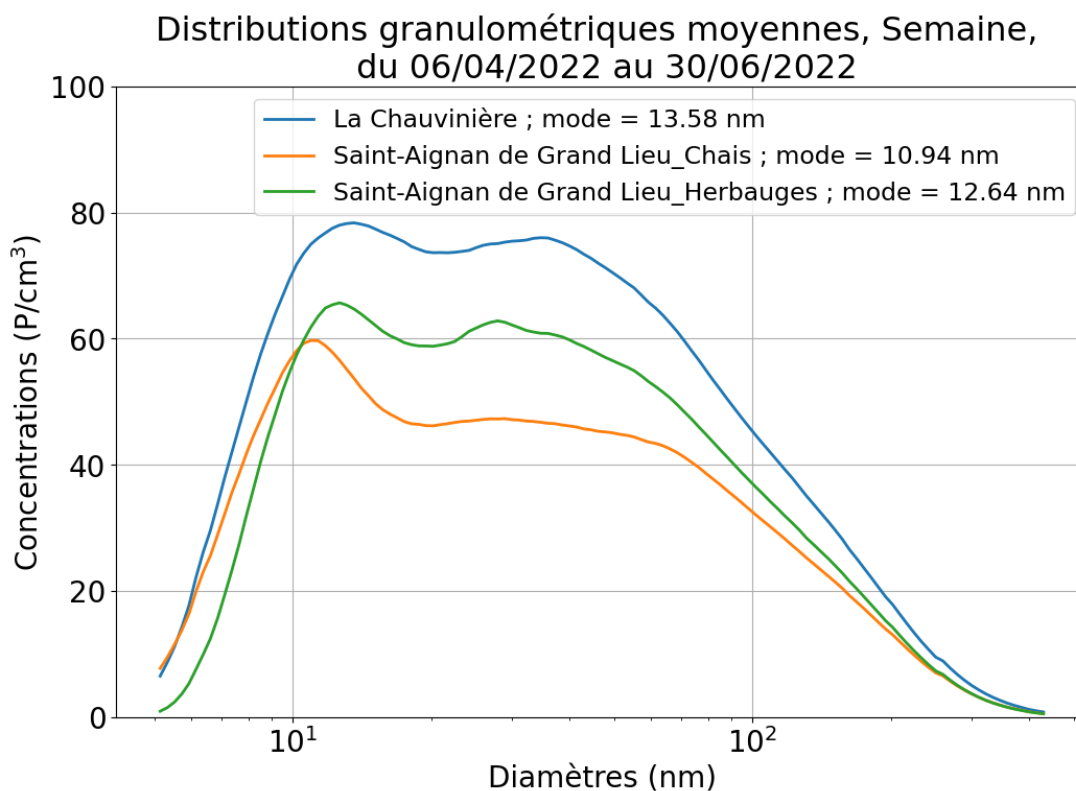


Figure 21 : distributions granulométriques des concentrations sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu et à la Chauvinière

Les concentrations mesurées en zone urbaine sont en moyenne plus élevées quels que soient les diamètres des particules. Les modes des distributions granulométriques se trouvent à 13,5 nm en zone urbaine, 11 nm à 2 km de la piste aux Chais des Treilles, et 12,5 nm à 2,8 km de la piste à l'école Jules d'Herbauges. Un mode secondaire autour de 40 nm est présent en zone urbaine et autour de 30 nm sur le site de l'école Jules d'Herbauges de Saint-Aignan de Grand Lieu.

Les concentrations moyennes mesurées à l'école Jules d'Herbauges sont plus élevées que celles mesurées aux Chais des Treilles, hormis pour les particules inférieures à 11 nm, où celles mesurées à 2 km de la piste sont en moyenne plus élevées que celles mesurées à 2,8 km de la piste. En outre, le mode principal est plus élevé à l'école Jules d'Herbauges que sur le site du Chais des Treilles avec des modes de 12.64 nm et 11 nm respectivement. Il semblerait donc qu'il y ait un impact plus important du trafic routier sur le site de Saint-Aignan de Grand Lieu_Herbauges que sur le site de Saint-Aignan de Grand Lieu_Chais au vu de la présence plus marquée du second mode et des concentrations plus élevées des particules de plus de 20 nm. On remarque cependant que la proportion des particules inférieures à 20 nm est plus élevée sur le site du Chais des Treilles que sur le site d'Herbauges, indiquant un impact plus élevé du trafic aérien sur le site du Chais des Treilles se trouvant à 2 km de la piste que sur le site d'Herbauges se trouvant à 2,8 km de cette dernière.

Pour rappel, les PUF émises par le trafic aérien sont caractérisées par des particules principalement inférieures à 20 nm. Les particules émises par le trafic automobile et mesurées en station de fond urbain sont globalement plus grosses, avec des émissions dans les classes 1 à 4.

Comparaison des mesures de 2021 avec celles de 2022 sur le site du Chais des Treilles

Les concentrations mesurées aux Chais des Treilles à Saint-Aignan de Grand Lieu, en 2021 (du 23/06/2021 au 31/12/2021) sont comparées aux concentrations mesurées sur le même site, en 2022 (du 01/01/2022 au 30/06/2022). Les boxplots des concentrations sont tracés ci-dessous :

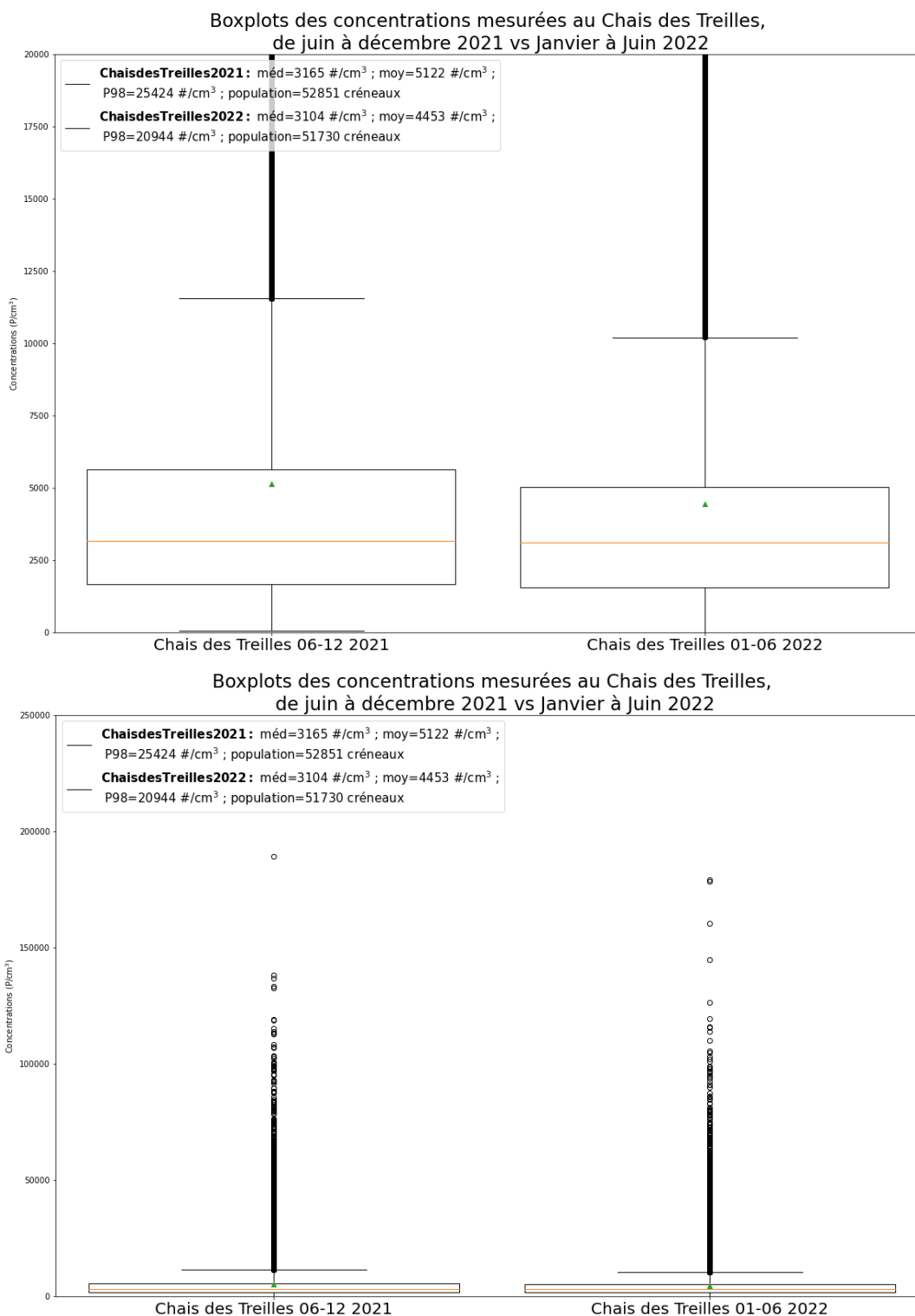


Figure 22 : comparaison des boxplots des concentrations sur le site du Chais des Treilles, entre la période de mesure de 2021 (du 23/06/2021 au 31/12/2021) et celle de 2022 (du 01/01/2022 au 30/06/2022)

Les concentrations médianes sont identiques durant les deux périodes, avec une médiane de 3 150 P/cm³ en 2021 contre 3 100 P/cm³ en 2022. La moyenne et les niveaux de pointe (percentile 98) de la période de 2021 sont plus élevés que durant la période de 2022 en raison d'un nombre d'élévations des concentrations plus élevé en 2021 qu'en 2022.

Influence du trafic aérien sur les concentrations en particules ultrafines

Afin d'étudier l'influence du trafic aérien sur les concentrations mesurées à proximité de l'aéroport, nous nous intéresserons dans un premier temps à la provenance des concentrations les plus élevées mesurées sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu. Enfin, nous terminerons en étudiant l'influence de la distance à la piste entre les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu.

Provenance des particules

Site de Saint-Aignan de Grand Lieu_Chais des Treilles

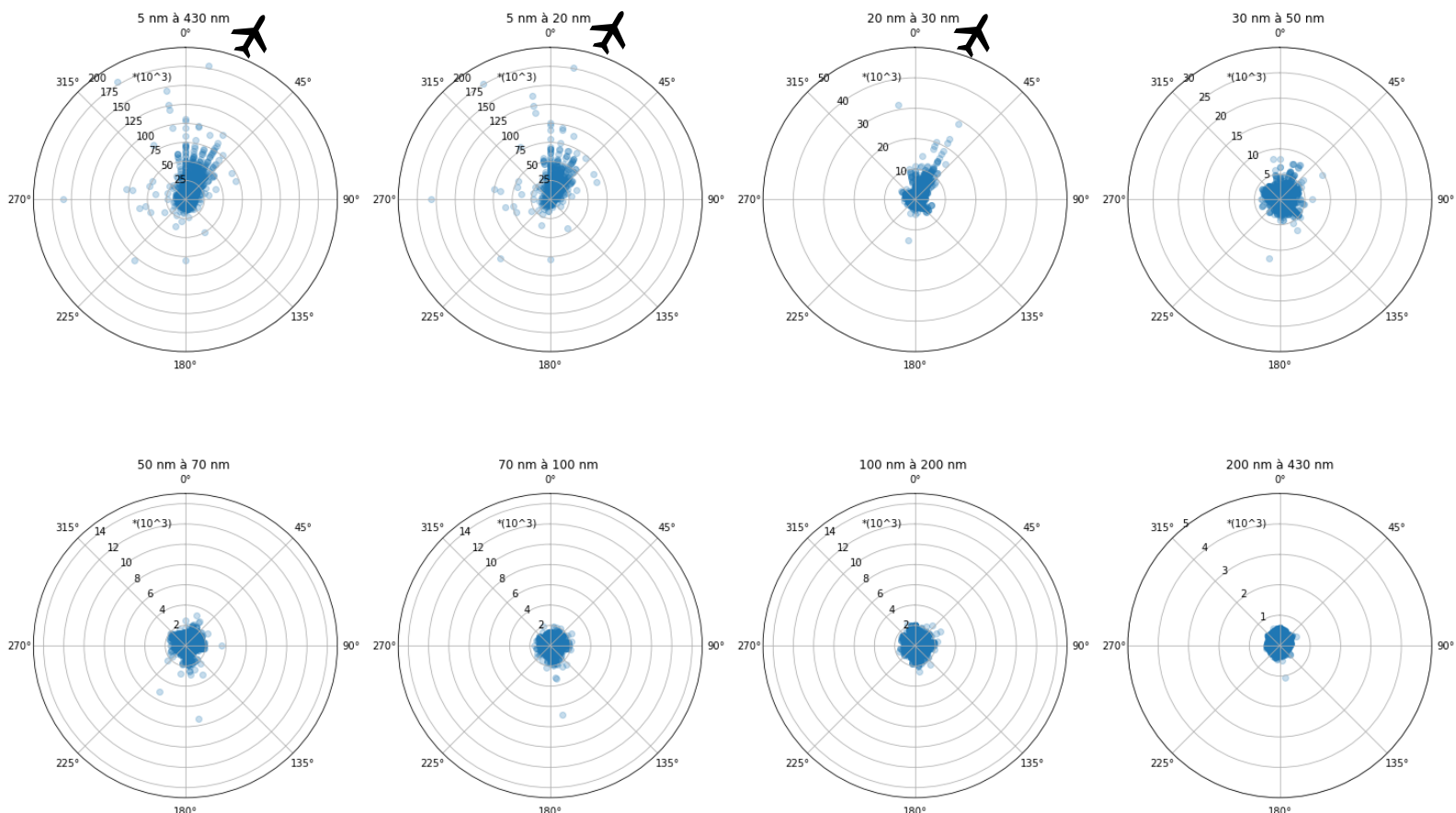


Figure 23 : roses de pollution par classe granulométrique aux Chais des Treilles

La figure ci-dessus présente les roses de pollution des différentes classes de particules. Chaque point représente une mesure de concentration. On remarque que les concentrations les plus élevées proviennent toutes de nord-est, direction de la piste de l'aéroport (l'axe piste-analyseur est axé à environ 25°N), et ce, pour les particules inférieures à 30 nm uniquement. Les autres classes de particules ne possèdent aucune direction privilégiée.

La figure suivante présente le nombre de dépassements de 20 000 P/cm³ selon la direction du vent.

Nombre de mesures supérieures à 20k selon la direction des vents à Saint-Aignan de Grand Lieu_Chais, du 01/01/2022 au 30/06/2022

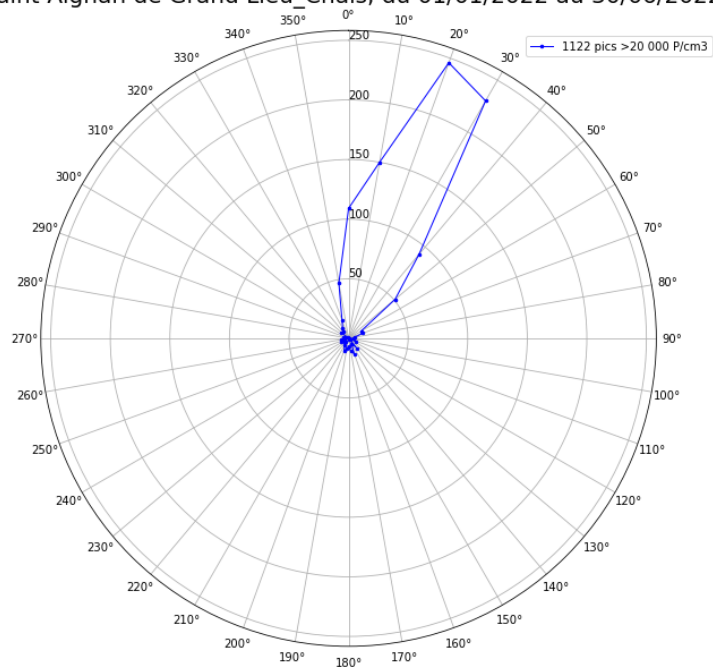


Figure 24 : rose du nombre de dépassements des 20 000 P/cm³ aux Chais des Treilles

1 122 créneaux de mesures dont les concentrations totales dépassaient les 20 000 P/cm³ ont été enregistrés durant les six mois de la période d'étude. On retrouve un maximum de dépassements lorsque les vents proviennent des directions 20°N et 30°N, directions de la piste de l'aéroport.

Afin de mettre en relation les concentrations mesurées avec les mouvements des avions, nous allons dans la suite comparer les profils journaliers des concentrations mesurées par vent provenant de la piste de l'aéroport avec les profils journaliers du nombre moyen de mouvements (nombre sans dimension sur l'axe des ordonnées) pour les mêmes vents.

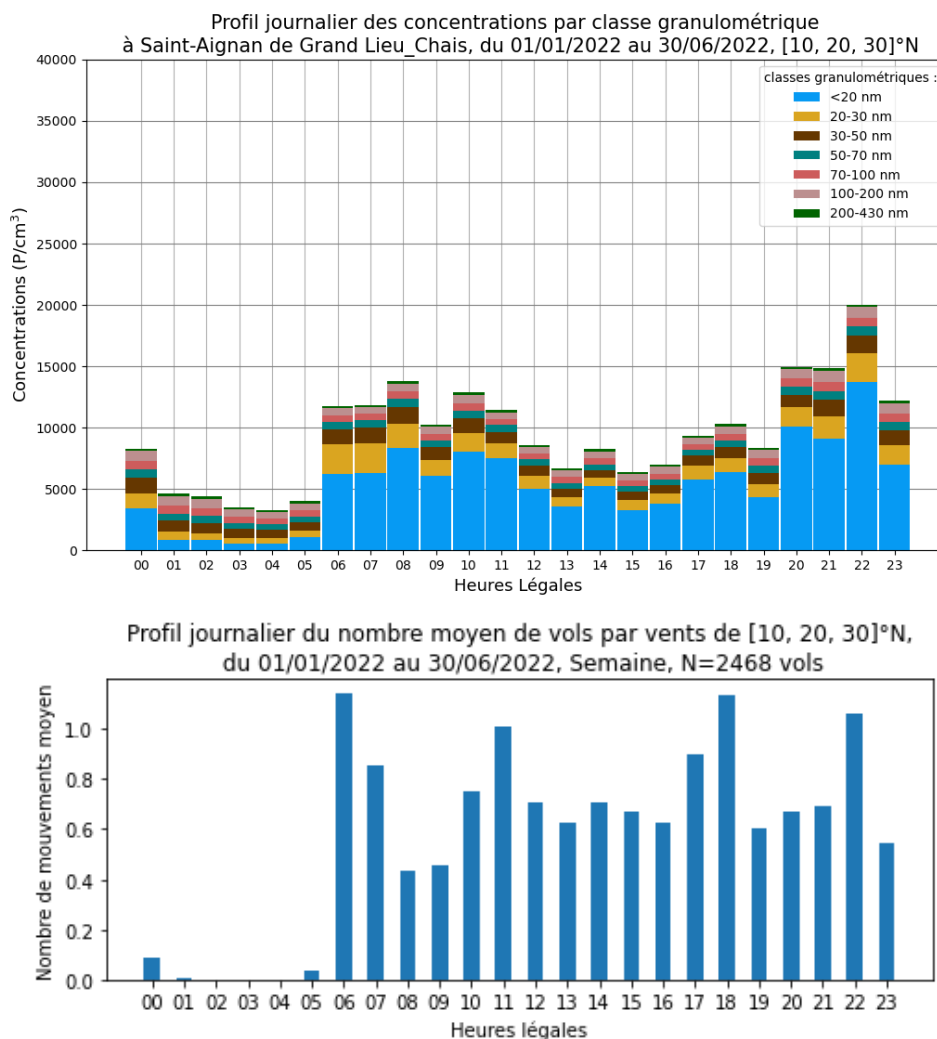


Figure 25 : comparaison du profil journalier des concentrations aux Chais des Treilles par vent de 10°N, 20°N et 30°N (en haut) avec le profil journalier du nombre moyen de mouvements d'avions par vent de 10°N, 20°N et 30°N

Les concentrations moyennes par vent provenant de la piste de l'aéroport, à savoir 10, 20 et 30°N, varient en journée entre 6 000 P/cm³ et 20 000 P/cm³, essentiellement conduites par les variations des particules inférieures à 20 nm. On remarque que les concentrations augmentent brutalement à partir de 6h, heure à partir de laquelle les avions commencent à voler, comme on peut le voir sur le second profil. La baisse des concentrations à partir de 23h est également très visible sur l'évolution des mouvements des avions. Il peut toutefois exister des différences entre le nombre d'avions et les concentrations atmosphériques en particules ultrafines (cf. différences constatées à 6h et 22h). Le nombre d'avions étant un indicateur partiel des émissions en particules ultrafines, il n'y a pas systématiquement une relation directe entre le nombre d'avions et les niveaux de concentrations. Les conditions météorologiques ont également une influence sur les niveaux de concentrations.

Le travail inverse a été réalisé en traçant les profils journaliers par vents ne provenant pas de la piste :

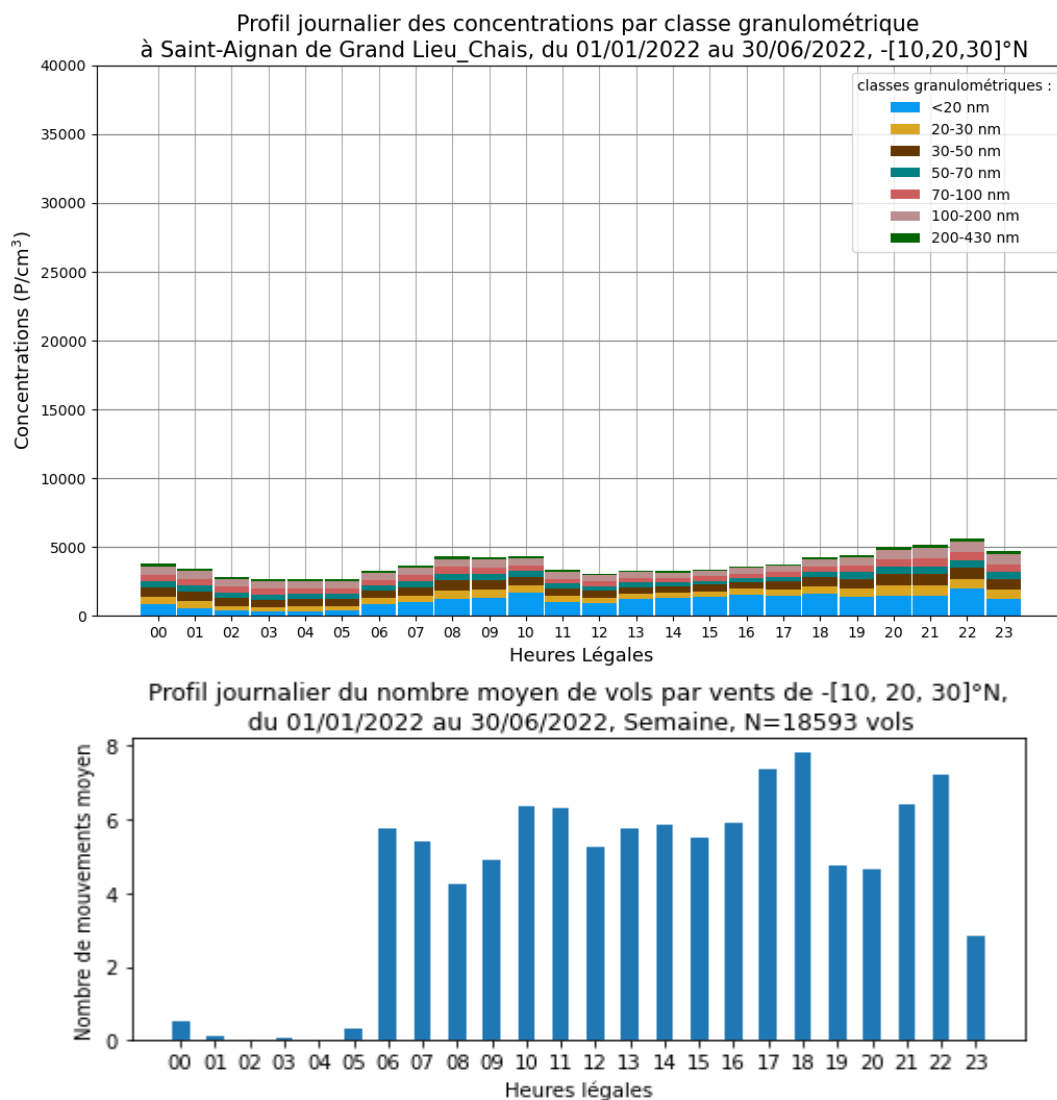


Figure 26 : comparaison du profil journalier des concentrations aux Chais des Treilles tous vents sauf 10°N, 20°N et 30°N (en haut) avec le profil journalier du nombre moyen de mouvements d'avions tous vents sauf 10°N, 20°N et 30°N

Les concentrations moyennes par vent ne provenant pas de la piste demeurent à des niveaux de fond et sont stables tout au long de la journée, avec des concentrations moyennes oscillant entre 2 500 P/cm³ et 5 000 P/cm³. Elles ne sont pas corrélées aux mouvements des avions, ce qui conforte l'influence du trafic aérien sur les concentrations mesurées aux Chais des Treilles lorsque le site est sous les vents de la piste.

L'influence du trafic aérien sur les concentrations mesurées aux Chais des Treilles est estimée à 1,7 % du temps de la période considérée (janvier – juin 2022), comparable à celle calculée sur la période précédente (juin – décembre 2021).

Afin de comparer les élévations des concentrations liées au trafic aérien durant les deux périodes de mesure sur le site du Chais des Treilles (juin-décembre 2021 et janvier-juin 2022), les boxplots des concentrations supérieures à 20 000 P/cm³, par vent de 10, 20 et 30°N sont présentées dans la suite.

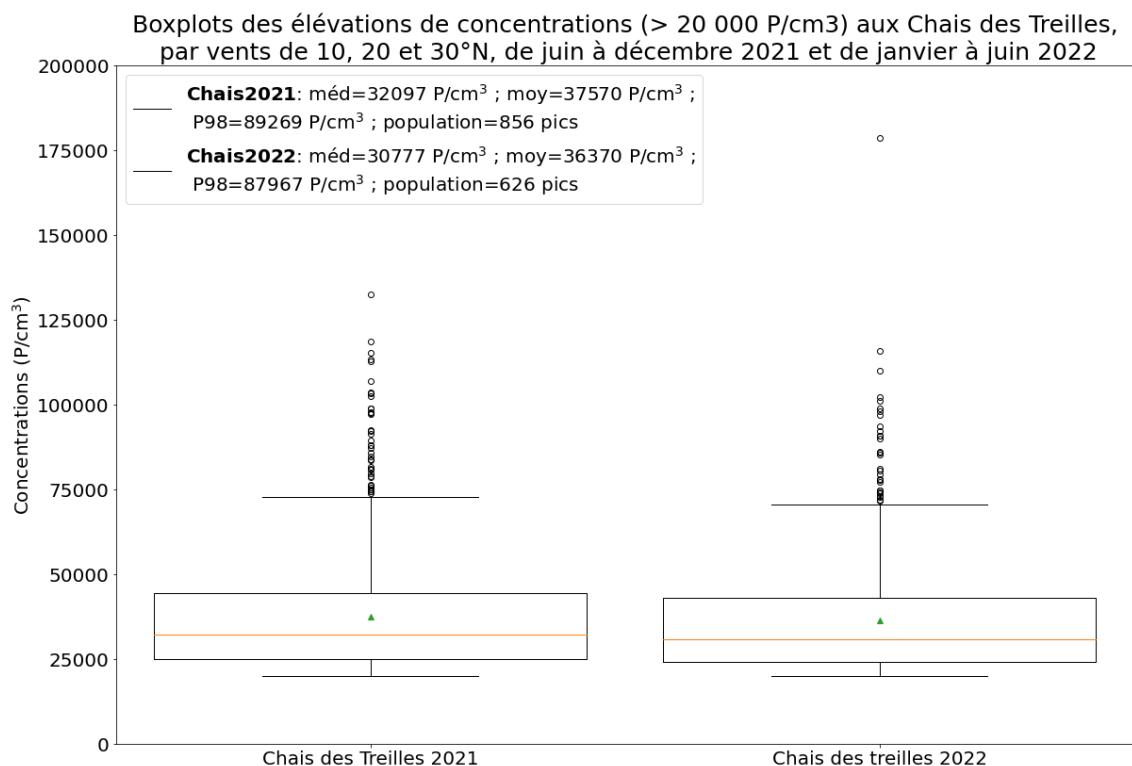
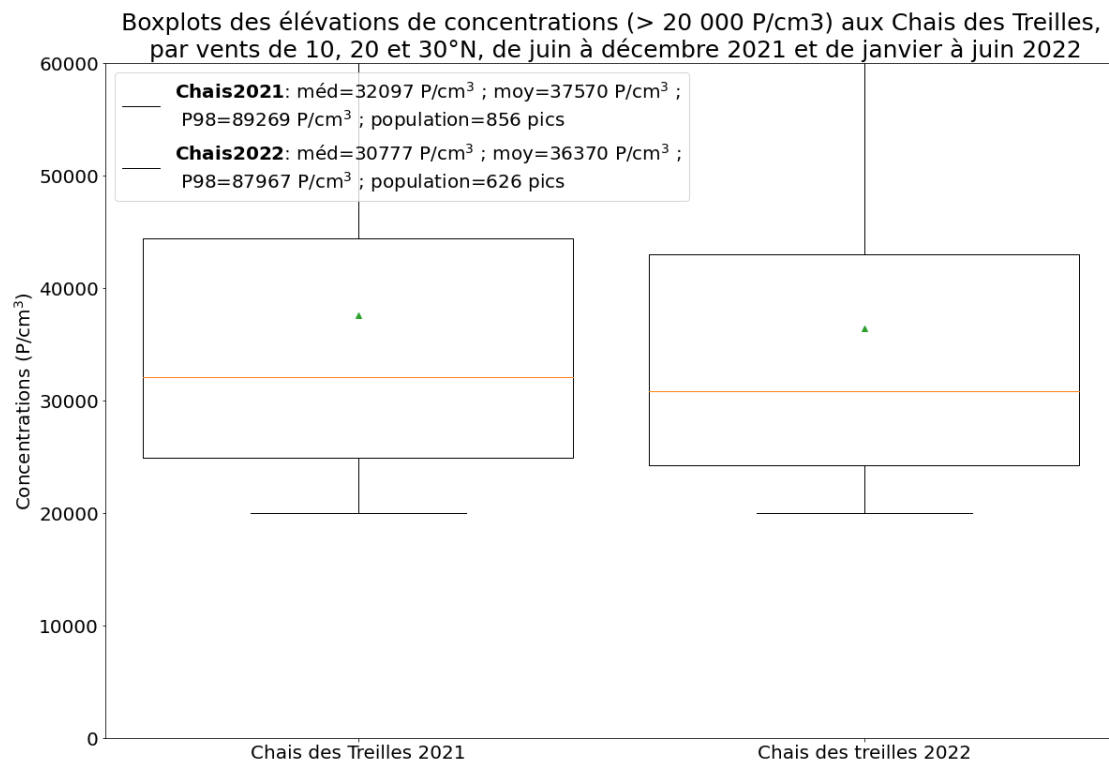


Figure 27 : comparaison des boxplots des élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ sur le site du Chais des Treilles, entre la période de mesure de 2021 (du 23/06/2021 au 31/12/2021) et celle de 2022 (du 01/01/2022 au 30/06/2022)

L'influence du trafic aérien, en termes de concentrations médianes, moyennes et en niveaux de pointe (percentile 98) est comparable entre les deux périodes.

Site de Saint-Aignan de Grand Lieu_Herbauges

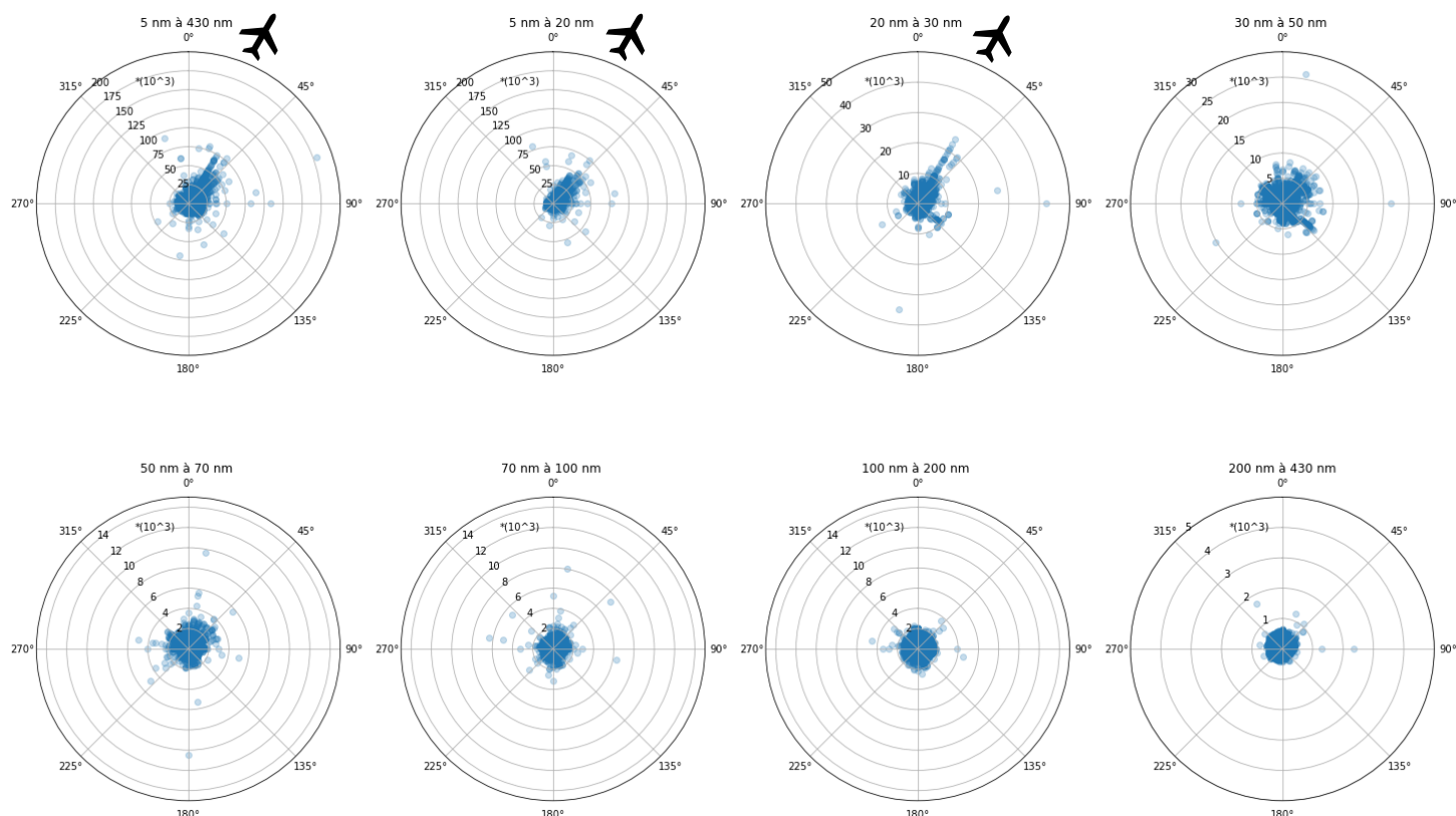


Figure 28 : roses de pollution par classe granulométrique à Herbauges

Sur le site de l'école Jules d'Herbauges à Saint-Aignan de Grand Lieu, on remarque que la direction nord-est est également responsable des mesures de concentrations les plus élevées dans les deux premières classes.

Nombre de mesures supérieures à 20k selon la direction des vents à Saint-Aignan de Grand Lieu_Herbauges, du 06/04/2022 au 30/06/2022

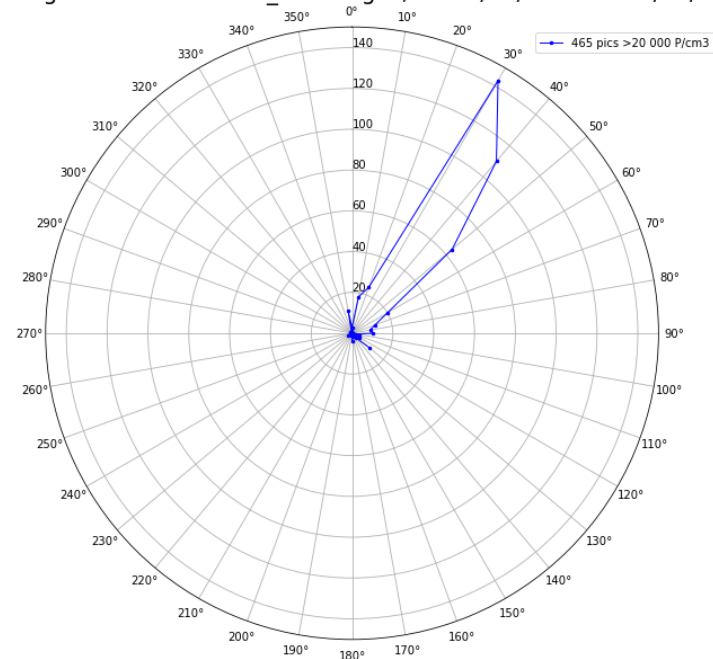


Figure 29 : rose du nombre de dépassements des 20 000 P/cm³ à l'école Jules d'Herbauges

À l'école Jules d'Herbauges, le nombre de dépassements des 20 000 P/cm³ est maximum pour la direction de vent 30°N, direction la plus proche de l'axe piste-analyseur (32°N), atteignant les 140 dépassements. On remarque que le nombre de dépassements diminue brutalement pour les directions de vent inférieures à 30°N alors qu'elle diminue progressivement pour les directions supérieures à 30°N, comme constaté sur le site des Chais. Le nombre de dépassements ainsi que les concentrations mesurées par vents de directions inférieures à 30°N chutent brusquement.

L'hypothèse privilégiée pour expliquer ce phénomène est la présence de 800 mètres de zone boisée à l'est de la route de la Marionnière, entre la piste de l'aéroport et l'analyseur d'Herbauges dans les directions inférieures à 30°N (cf. annexe 1). La présence du bois conduirait donc les particules issues de la piste de l'aéroport à se déposer avant d'atteindre le site de mesure.

Compte tenu de cette constatation, les directions de vent choisies pour effectuer la comparaison des deux profils journaliers sont les directions 30°N, 40°N et 50°N.

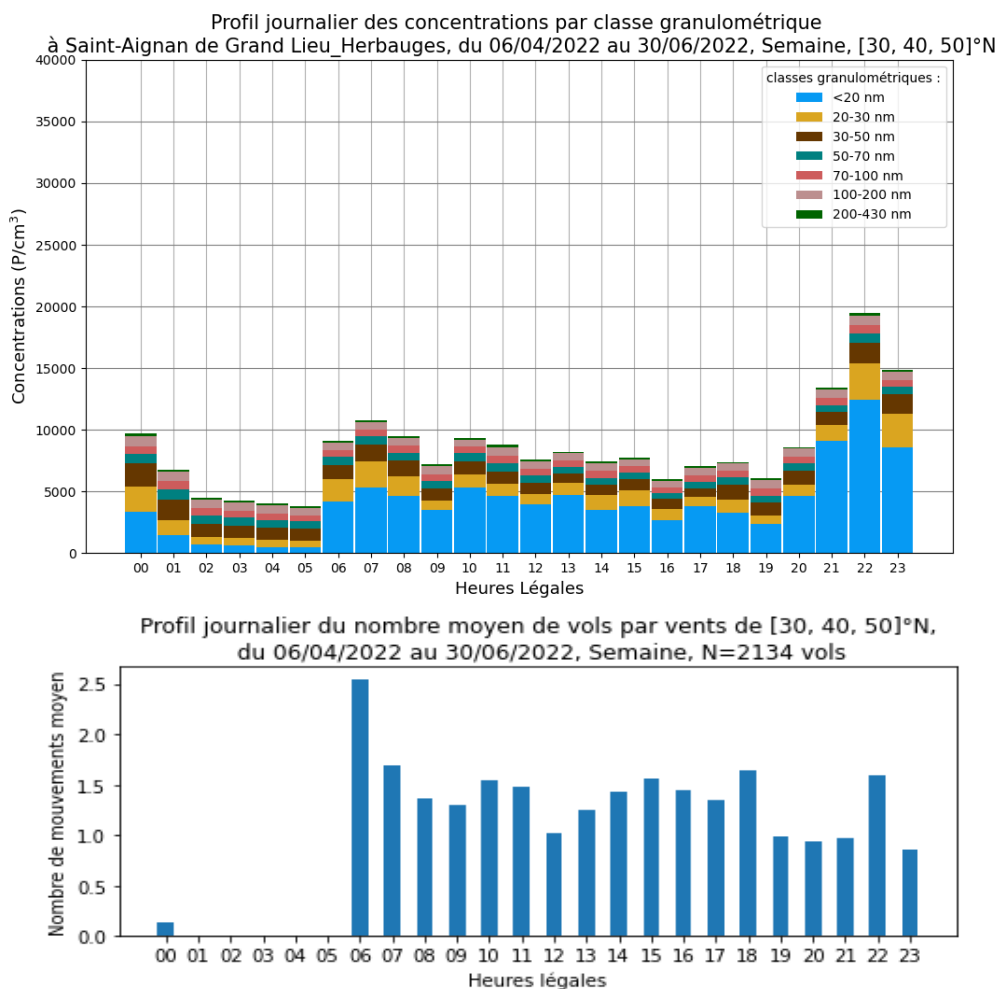


Figure 30 : comparaison du profil journalier des concentrations à Herbauges par vent de 30°N, 40°N et 50°N (en haut) avec le profil journalier du nombre moyen de mouvements d'avions par vent de 30°N, 40°N et 50°N (en bas)

On observe également sur le site d'Herbauges, par vent de nord-est, des concentrations qui augmentent à partir de 6h et qui diminuent à de faibles niveaux après 23h, de même que pour le nombre moyen de mouvements.

Les profils journaliers des concentrations pour toutes les autres directions que 30°N, 40°N et 50°N ainsi que les profils journaliers du nombre moyen de mouvements d'avions pour ces mêmes vents ont également été tracés.

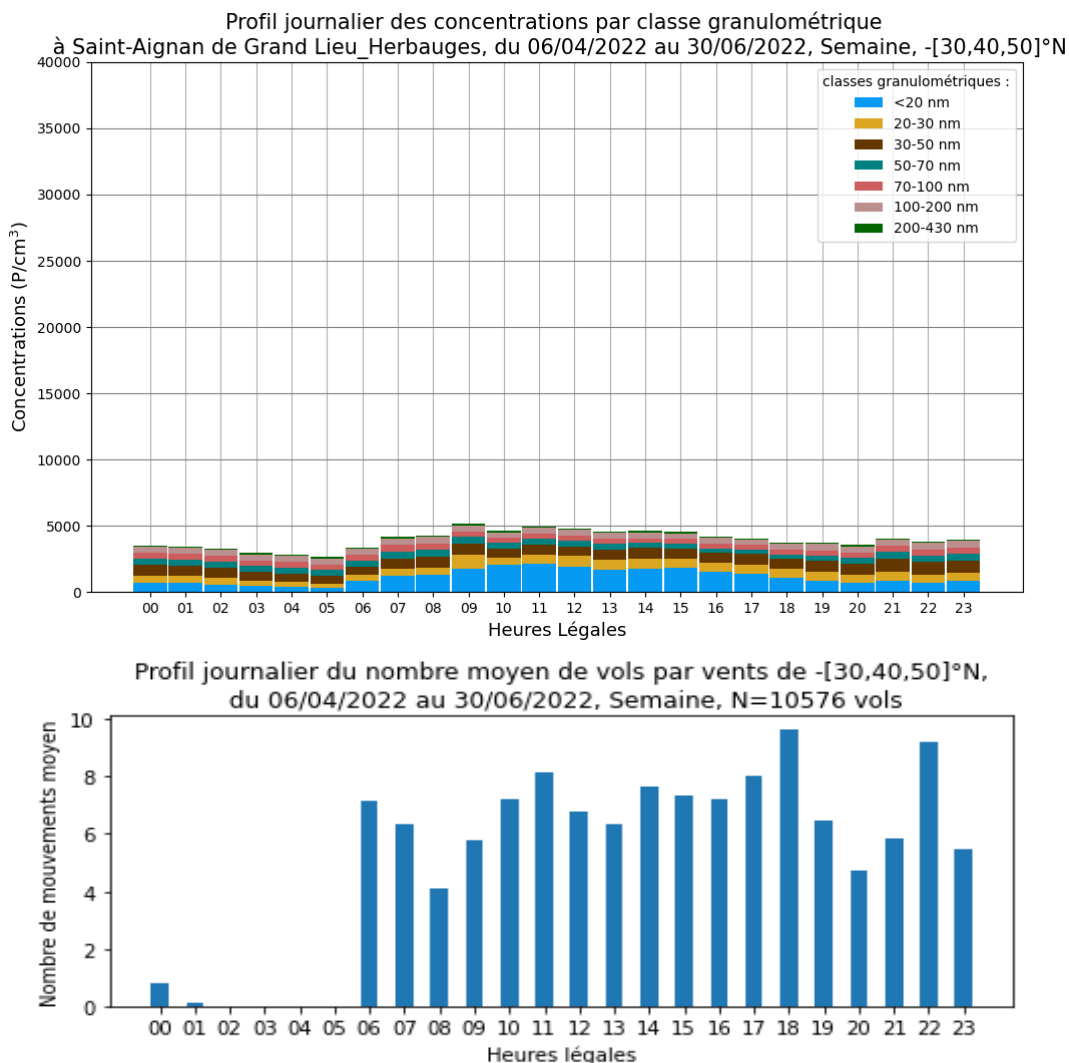


Figure 31 : comparaison du profil journalier des concentrations à Herbauges tous vents sauf 30°N, 40°N et 50°N (en haut) avec le profil journalier du nombre moyen de mouvements d'avions tous vents sauf de 30°N, 40°N et 50°N (en bas)

On remarque des concentrations plus faibles, de l'ordre de niveaux de fond. On n'observe donc aucune corrélation entre les concentrations mesurées et le nombre de mouvements d'avions lorsque les vents ne proviennent pas de la piste de l'aéroport, confortant ainsi l'influence du trafic aérien sur les concentrations mesurées à l'école Jules d'Herbauges lorsque le site est sous les vents de la piste.

Finalement, les concentrations les plus élevées mesurées sur les sites de Saint-Aignan de Grand Lieu proviennent de la direction de la piste de l'aéroport et sont corrélées aux mouvements des avions par vent de nord-est, indiquant une influence du trafic aérien sur les concentrations en PUF (essentiellement inférieures à 20 nm) mesurées à Saint-Aignan de Grand Lieu.

L'influence du trafic sur les concentrations mesurées à Herbauges est estimée à près de 1.6 % du temps.

Impact de la distance à la piste

Les boxplots des élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ ont été tracés pour les deux sites de Saint-Aignan et pour l'unique direction 30°N (direction commune aux deux sites).

Boxplots des pics de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ provenant de la direction 30°N aux Chais des Treilles et à Herbauges, du 06/04/2022 au 30/06/2022

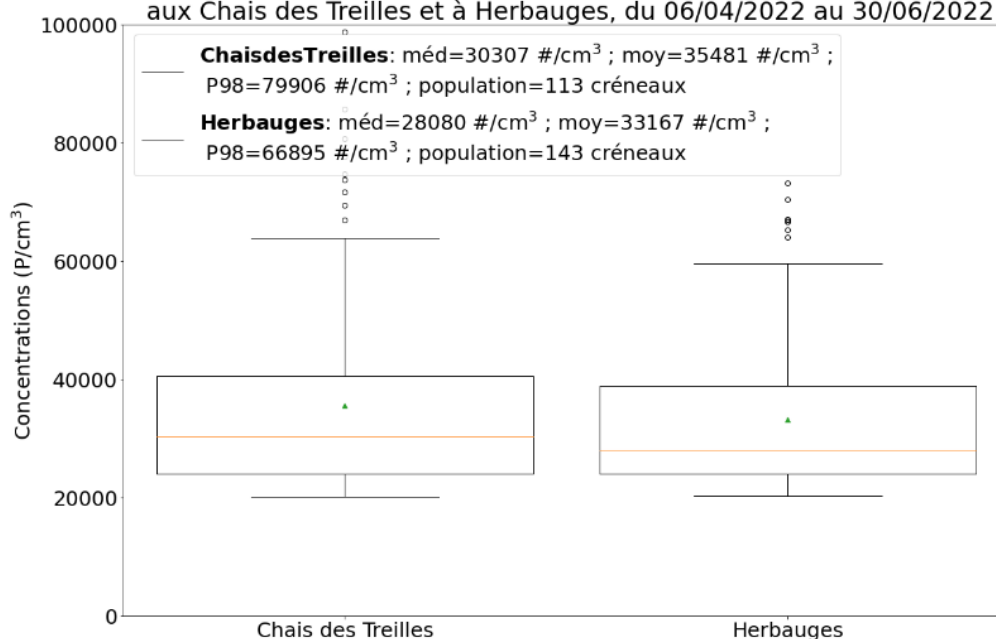


Figure 32 : boxplots des élévations de concentrations supérieures à 20 000 P/cm³ sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu

On retrouve une concentration moyenne des élévations mesurées par vent de 30°N de 35 500 P/cm³ à 2 km de la piste contre 33 200 P/cm³ à 2,8 km de la piste. Cela représente une diminution moyenne de 6,5 %. Le site situé à 2 km a mesuré des concentrations médianes de 30 300 P/cm³, contre 28 100 P/cm³ à 2,8 km, ce qui fait réduction de près de 7 % de la médiane.

En d'autres termes, les influences moyennes et médianes du trafic aérien sont 6 à 7 % plus faibles sur le site de l'école Jules d'Herbauges par rapport au site du Chais des Treilles, en lien avec la distance à la piste. Pour rappel, la diminution des concentrations entre le site de La Ranjonnière distant de 500 m de la piste et le site du Chais des Treilles distant de 2 km de la piste a été estimé à 36 % en moyenne. Cela suggère que la décroissance des concentrations en particules ultrafines n'est pas linéaire lorsque l'on s'éloigne de la piste. Elle est plus importante à proximité immédiate de la source et diminue lorsque l'on s'en éloigne. Rappelons également que l'estimation de 36 % est à prendre avec plus de précautions car réalisée sur deux sites et deux périodes différentes.

Évolution mensuelle des concentrations aux Chais des Treilles

Afin d'étudier les variations saisonnières des concentrations sur le site du Chais des Treilles, les concentrations moyennes mensuelles pour chaque diamètre de particules ont été calculées et tracées dans la figure suivante.

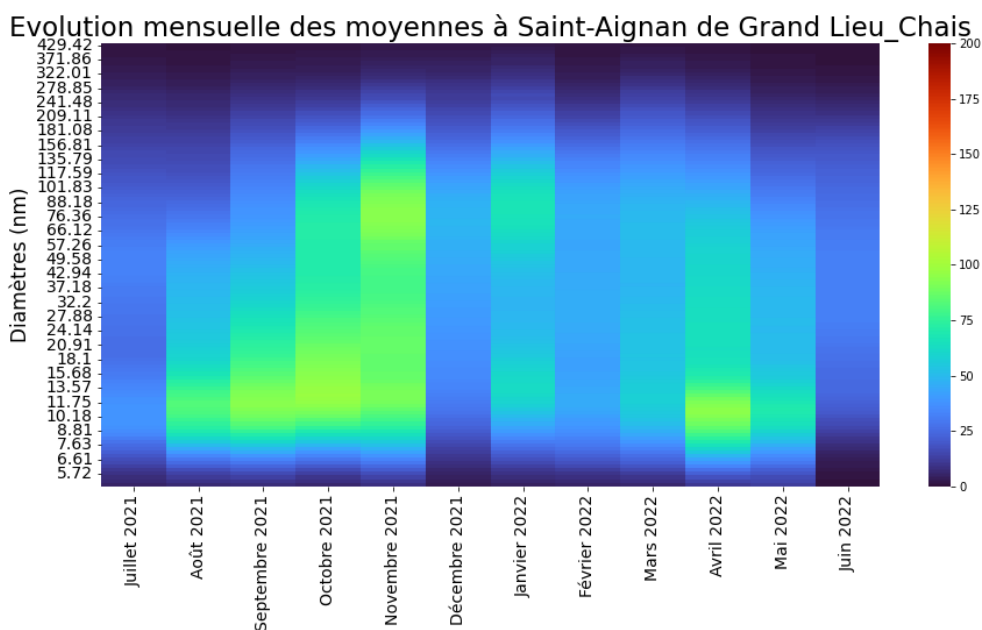


Figure 33 : évolution 3D des moyennes mensuelles sur l'année de mesures aux Chais des Treilles

Les concentrations les plus élevées ont été mesurées entre les mois d'août et de novembre 2021, pour des diamètres essentiellement inférieurs à 30 nm. On voit cependant qu'il y a eu un impact dans les diamètres compris entre 50 et 150 nm durant les mois d'octobre et de novembre 2021. La figure montre également une baisse significative des concentrations entre le mois de novembre et le mois de décembre 2021 sur l'ensemble de la gamme des diamètres de particules.

Les faibles concentrations mesurées en juillet et décembre 2021 ainsi qu'en février 2022 dans la gamme 10 à 20 nm s'expliquent par une quasi-absence de vent de nord nord-est (secteurs 10, 20 et 30°N) qui placent le site de mesure sous les vents de la piste.

Les concentrations les plus élevées dans les diamètres inférieurs à 30 nm durant les mois d'août à novembre 2021 et en avril 2022 s'expliquent quant à elles par la présence de vent provenant de la direction de la plateforme aéroportuaire.

Les concentrations plus élevées dans les diamètres compris entre 50 et 150 nm en octobre et novembre 2021 peuvent s'expliquer par des émissions de chauffage en début de saison de chauffe, où les températures étaient particulièrement faibles avec respectivement -1.2°C et -2.2°C par rapport aux normales (moyennes de la période allant de 1981 à 2010). Notons également un mois de novembre 2021 particulièrement sec (-65% de précipitations par rapport à la normale), propice à l'accumulation des polluants dans l'air.

La baisse des concentrations dans la gamme 50-150 nm entre novembre et décembre peut s'expliquer également par un temps particulièrement doux en décembre ($+1,6^{\circ}\text{C}$ par rapport à la normale), limitant l'utilisation du chauffage.

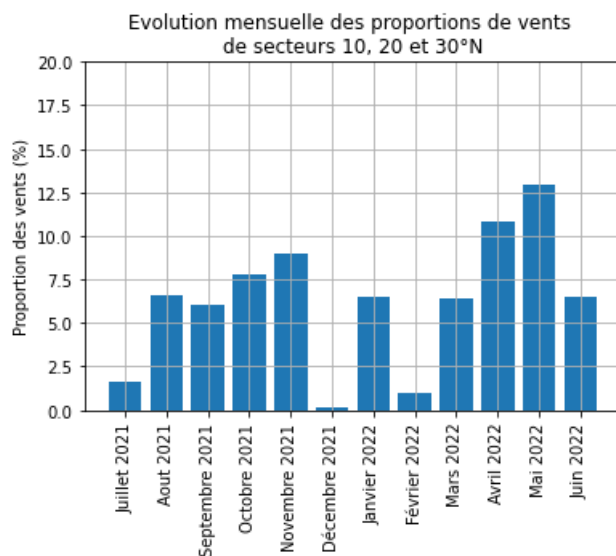


Figure 34 : évolution mensuelle de la proportion des vents de nord nord-est

Conclusion

En milieu urbain :

En comparant les mesures enregistrées en 2021 et 2022 sur la même période (janvier à juin), nous constatons des niveaux moyens et médians respectivement de 13 % et 21 % plus élevés en 2022. Cette différence peut être attribuée notamment à une production d'aérosols secondaires par photochimie, plus intense durant le printemps 2022 qu'au printemps 2021 du fait des températures plus élevées en 2022. Les faits marquants observés précédemment avec la présence de deux élévations des concentrations le matin et en soirée, en lien avec les émissions routières et de chauffage ont également été constatés sur cette période de mesure.

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

Les niveaux moyens et médians enregistrés à 2 km de la piste aux Chais des Treilles à Saint-Aignan de Grand Lieu sont respectivement 24 % et 37 % plus faibles que ceux enregistrés à la Chauvinière en zone urbaine, indiquant des niveaux de fond plus faibles qu'en zone urbaine de Nantes.

En revanche les niveaux de pointe sont quant à eux 16 % plus élevés sur le site de Saint-Aignan de Grand Lieu.

Les mesures réalisées en complément durant 3 mois, du 06/04/2022 au 30/06/2022, au niveau de l'école Jules d'Herbauges distante de 2.8 km de la piste confirment ces résultats en indiquant également des niveaux de fond plus importants (13 % en moyenne et 19 % en médiane) que sur le site du Chais. La situation de l'école d'Herbauges en zone plus urbanisée que le site du Chais des Treilles peut expliquer cette différence.

La comparaison des élévations de concentrations en provenance de la piste et mesurées sur le site du Chais des Treilles, sur les six mois de mesures en 2021 (juin à décembre) avec celles des six mois de 2022 (janvier à juin) a montré des élévations de même ordre en termes d'amplitudes.

L'évolution mensuelle des concentrations aux Chais des Treilles (de juillet 2021 à juin 2022) montre des variations liées à la fois :

- à la fréquence des vents de nord-est qui placent le site sous les vents de la piste, impactant les niveaux de particules les plus fines émises par le trafic aérien,
- et à la rigueur climatique qui conditionnent les émissions de chauffage, impactant les concentrations en particules dans la gamme allant approximativement de 50 nm à 150 nm.

Une influence des émissions des avions confirmée sur les concentrations en particules inférieures à 20 nm :

Les 6 mois de mesures supplémentaires au niveau du Chais des Treilles confirment les résultats issus des premières mesures soit une influence des émissions des avions sur les concentrations inférieures à 20 nm. Cette influence est également visible sur le site de l'école Jules d'Herbauges lorsque le site est sous les vents de la piste. Toutefois, compte tenu de l'éloignement plus important de la piste, cette influence est moindre, avec une diminution de l'ordre de 6 à 7 % des concentrations de pointe au niveau de l'école Jules d'Herbauges. Cette influence du trafic aérien est estimée à moins de 2 % du temps sur les deux sites de Saint-Aignan de Grand Lieu.

La présence d'une zone boisée localisée entre la piste de l'aéroport et l'analyseur d'Herbauges dans la direction 20°N conduirait à l'absence d'influence des émissions des avions lorsque les vents soufflent dans cette direction.

Perspectives

La prochaine phase de la campagne, dont les mesures ont débuté début juillet 2022, comporte des mesures sur le site de la ferme de la Ranjonnère, à 500 mètres au nord de la piste durant 6 mois afin d'acquérir des données de mesure en période estivale et automnale et d'étudier la reprise du trafic aérien. La station de mesure de référence a également été déplacée en proximité trafic, au niveau du boulevard des frères Goncourt à Nantes pour cette prochaine phase de la campagne et remplacera la station de fond urbain de la Chauvinière. Ces mesures apporteront alors les premières informations sur les niveaux de concentrations en particules ultrafines et leurs tailles sur un site localisé à proximité immédiate d'une voie de circulation.

Des campagnes de mesures additionnelles de trois mois chacune, l'une à la suite de l'autre, sont également prévues au cimetière des Couëts à environ 2 km de la piste et proche de son axe (piste-site de mesure orienté aux 215°N) afin d'étudier la décroissance des concentrations entre le site de la Ranjonnère (situé à 500 m au nord de la piste) et le site des Couëts.

Des mesures sont également prévues à Pont Saint-Martin, site désaxé par rapport à la piste ainsi que sur une autre commune à déterminer. Ces mesures apporteront des informations sur les niveaux de PUF et sur l'influence des émissions du trafic aérien dans des zones habitées qui ne sont pas situées dans l'axe de la piste. L'ensemble de ces résultats seront mis en perspective avec les résultats des campagnes précédentes et seront publiés dans un rapport final prévu à l'été 2023.

Par ailleurs, en termes de perspectives d'étude qui permettraient d'approfondir notre connaissance de ce type de pollution en lien avec le trafic aérien, plusieurs actions peuvent être avancées :

- Une mise en perspective des concentrations en particules ultrafines mesurées dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique pourrait être effectuée avec des mesures à proximité ou au sein d'autres aéroports, notamment à Paris. Cela permettrait d'apporter de nouvelles informations sur les concentrations typiques que l'on retrouve à proximité ou au sein d'une autre plateforme aéroportuaire et donc de pouvoir situer l'aéroport de Nantes-Atlantique vis-à-vis des autres.

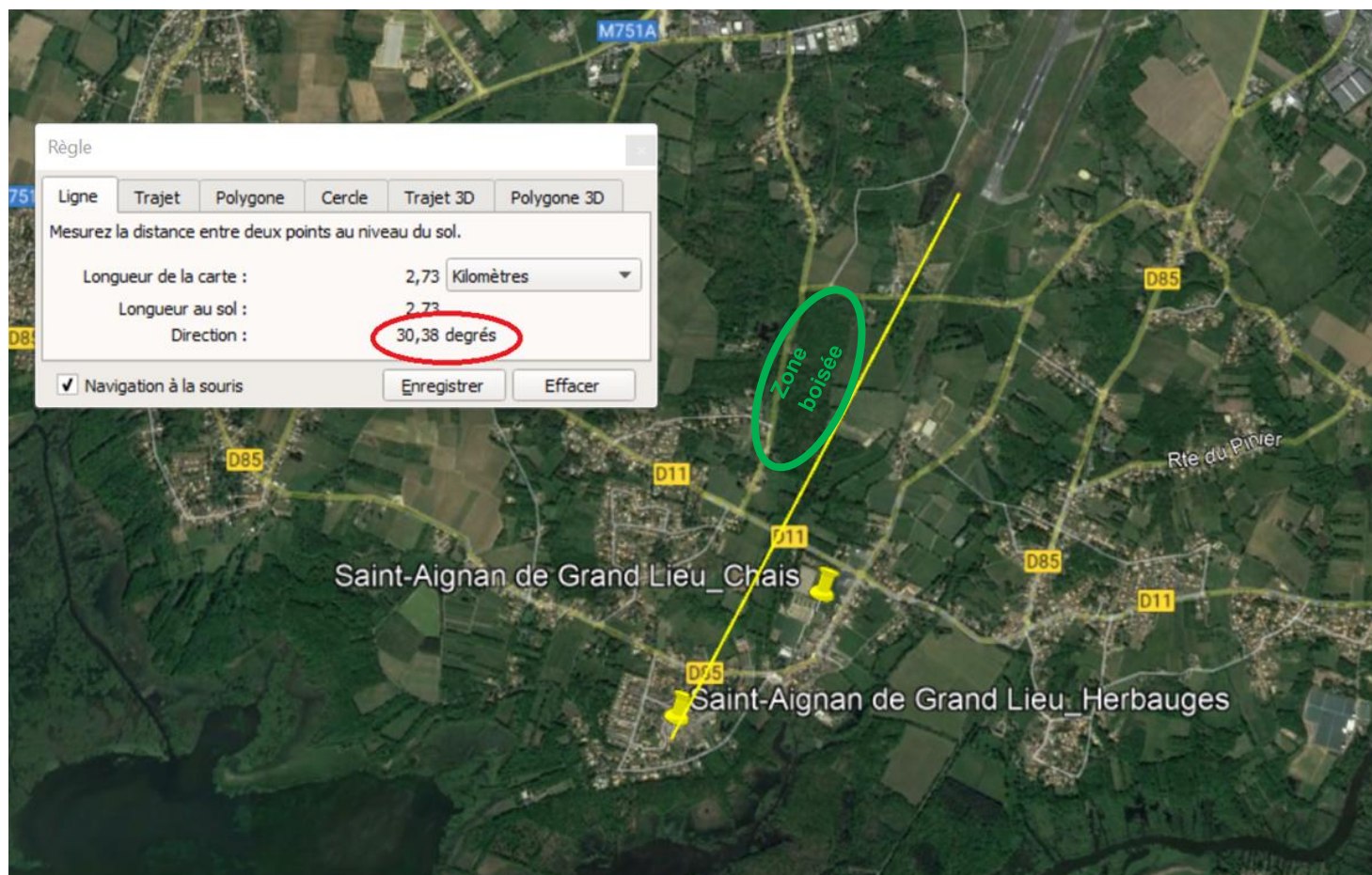
Il paraîtrait également intéressant d'apporter une analyse statistique de type ACP (Analyse en Composante Principale) afin d'étudier statistiquement les différents paramètres influant sur les concentrations mesurées comme le type de motorisation des avions, certains paramètres météorologiques comme l'humidité relative, la température...

- Une pérennisation des mesures de particules ultrafines dans l'environnement de l'aéroport de Nantes-Atlantique apporterait des informations en termes de variabilités saisonnières et interannuelles des concentrations en particules ultrafines en lien avec la reprise du trafic aérien.
- Une étude spécifique concernant la décroissance des concentrations avec l'augmentation de la distance pourrait être réalisée avec la présence de plusieurs analyseurs à différentes distances de la piste et positionnés sur le même axe. Cela permettrait d'approfondir l'influence des émissions du trafic en fonction de la distance entre le site de mesure et la piste.

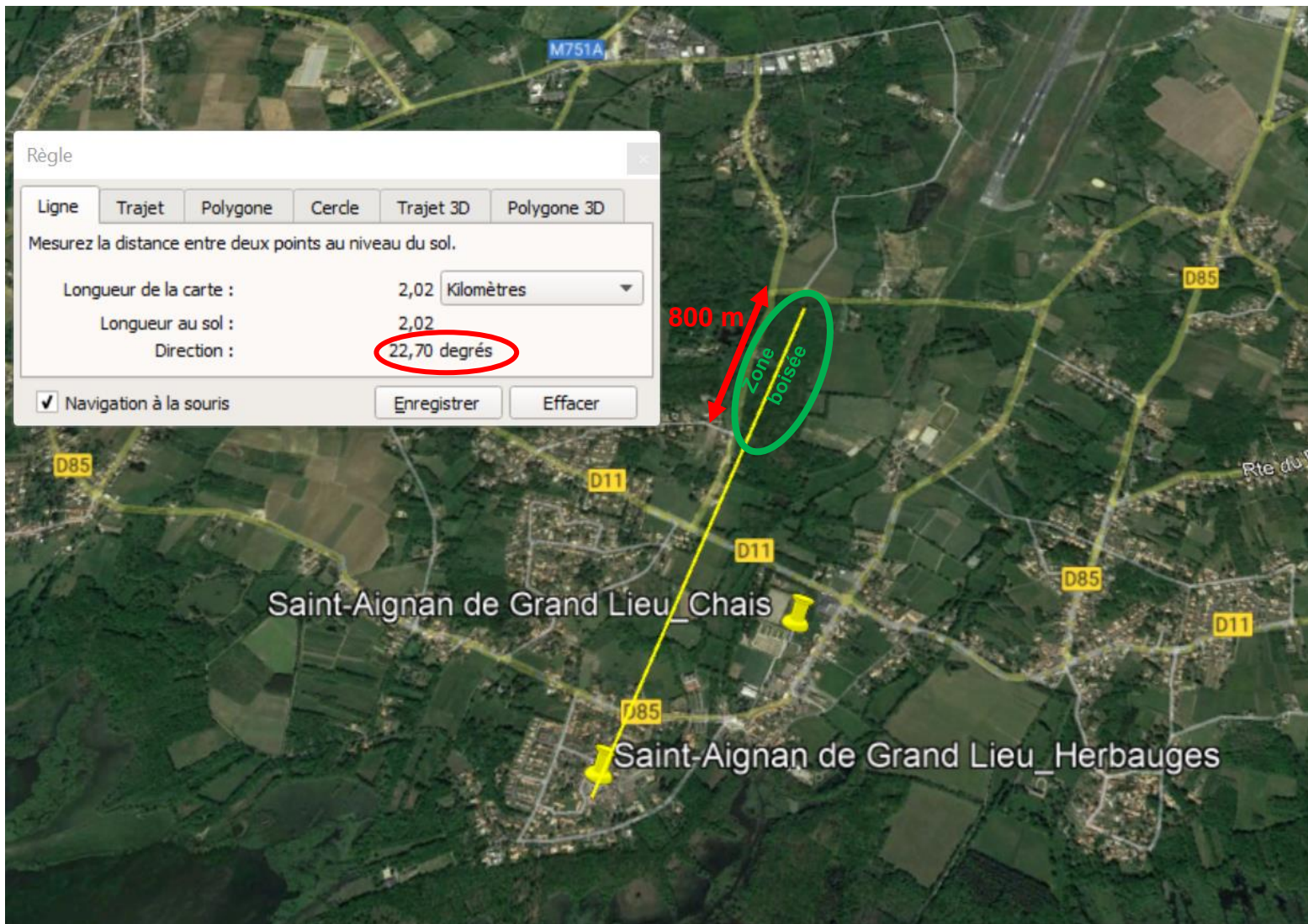
Annexes

- annexe 1 : forêt à 20°N de l'analyseur d'Herbauges
- annexe 2 : Air Pays de la Loire

Annexe 1 : forêt à 20°N de l'analyseur d'Herbauges



Annexe 1-1 : absence de zone boisée dans les directions de plus de 30°N



Annexe 1-2 : présence d'une zone boisée longue de 800 mètres dans la direction 20°N

Annexe 2 – 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.

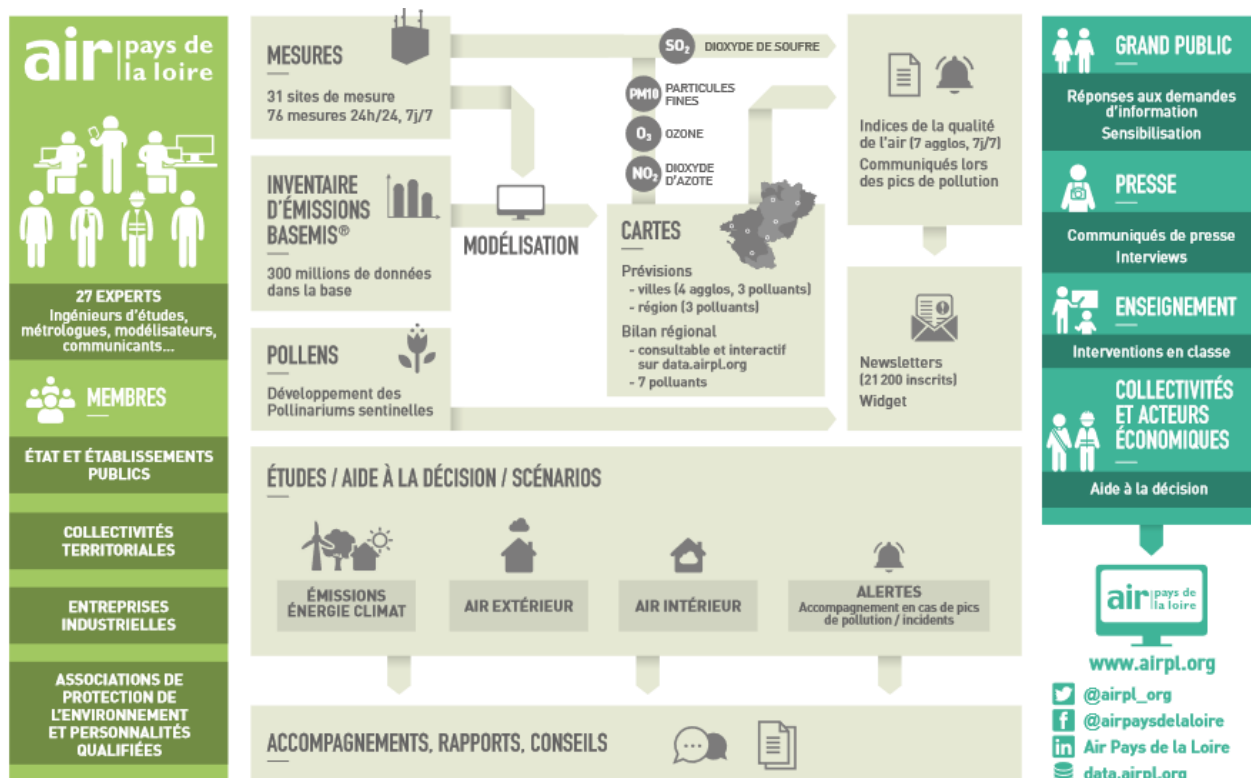
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- 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.





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