



CHAUFFERIE BIOMASSE AIRBUS ATLANTIC

**Évaluation de la qualité de l'air
avant mise en service de la chaufferie**

Campagne Hiver 2025



Sommaire

Synthèse	2
Introduction	3
Modélisation des retombées maximales	4
Dispositif de mesure.....	9
Conditions météorologiques	10
Situation vis-à-vis de la réglementation	11
Résultats pour les particules PM10	11
Résultats pour les particules PM2.5	15
Résultats pour le dioxyde d'azote NO₂.....	18
Part estimée de combustion biomasse.....	21
Résultats pour les particules ultrafines PUF	23
Conclusions et perspectives.....	27
Annexes	28

Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Eneour Le Guiban,

Mise en page : Bérangère Poussin

Exploitation du matériel de mesure : Edouan Fachat, François Fauchoux

Validation : François Ducroz

Conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code l'environnement, précisé par l'arrêté du 2 août 2022 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet www.airpl.org, etc...

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 et objectif

Dans son objectif de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre sur son site de Bouguenais, Airbus Atlantic a entamé la construction d'une nouvelle chaufferie biomasse en remplacement de chaudières gaz. Cette chaufferie biomasse, composée de deux chaudières de 2 MW et 6 MW, permettra de répondre aux besoins de chaleur du site (process industriels, chauffage des locaux et eau chaude sanitaire).

Afin de répondre aux éventuelles questions des salariés du site et des riverains, Airbus Atlantic a sollicité Air Pays de la Loire afin **de réaliser un état des lieux de la qualité de l'air**, avant la mise en fonctionnement de la chaufferie biomasse. Une seconde campagne sera menée une fois en fonctionnement, afin d'évaluer l'influence de la future chaufferie sur la qualité de l'air.

Moyens

Une **campagne de mesure** a été déployée du 20 février au 1^{er} avril 2025 au niveau de la zone de retombées maximales identifiée par l'étude de **modélisation**, pour y mesurer les concentrations de particules PM10 et PM2.5, de dioxyde d'azote NO₂, de particules ultrafines et la part estimée de carbone suie issue de combustion biomasse.

Résultats

Les résultats montrent :

- Des niveaux en PM10 et PM2.5 de même ordre sur le site d'Airbus qu'en milieu périurbain Saint-Etienne-de-Montluc, et plus faibles qu'en milieu urbain au cimetière de la Bouteillerie de Nantes.
- Des niveaux de NO₂ plus élevés qu'en milieu périurbain à Saint-Etienne-de-Montluc et de même ordre qu'en milieu urbain à la Bouteillerie, en lien avec une exposition au trafic routier comparable entre les deux sites.
- Aucune différence notable n'est relevée entre les niveaux à Airbus et à Bouteillerie lorsque les vents proviennent de la direction de la future chaufferie biomasse (40-50°N).
- Une influence sur les concentrations en particules ultrafines a été observée par vents de sud-ouest. Le diamètre des particules mesurées ainsi que la présence d'élévations des concentrations le dimanche suggèrent une influence du trafic aérien à proximité. La présence de l'atelier de peintures, ainsi que d'une chaudière gaz dans ces directions pourrait également influencer les concentrations en particules ultrafines. Les mesures prévues début 2026, après mise en route de la future chaufferie biomasse permettront de consolider ces observations.

Les niveaux enregistrés vis-à-vis de la réglementation en vigueur sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Valeur réglementaire	PM10	PM2,5	NO₂
Objectif de qualité (an)	✓	✓	✓
Valeur limite (an)	✓	✓	✓
Seuil d'information (jour/heure)	✓	-	✓
Valeur guide OMS (an)	✓	X	X
Valeur guide OMS (jour)	X	X (8 jours*)	X
Valeur guide OMS (heure)	-	-	✓

✓ : respect constaté de la valeur de référence ; ✓ : respect probable de la valeur de référence ; X : possible dépassement de la valeur de référence ; X : dépassement constaté de la valeur de référence

*Le dépassement de la valeur guide journalière de l'OMS pour les PM2.5 s'inscrit dans un épisode régional en lien avec l'import de masses d'air chargées en particules, conjugué à des conditions météorologiques propices à l'accumulation des polluants (vents et températures faibles) ainsi qu'au recours au chauffage individuel.

Introduction

Dans son objectif de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre sur son site de Bouguenais, Airbus Atlantic a entamé la construction d'une nouvelle chaufferie biomasse en remplacement de chaudières gaz. Cette chaufferie biomasse, composée de deux chaudières de 2 MW et 6 MW, permettra de répondre aux besoins de chaleur du site (process industriels, chauffage des locaux et eau chaude sanitaire).

Les chaufferies fonctionnant à la biomasse permettent d'augmenter la part d'énergie renouvelable dans le mélange énergétique. Ces structures soulèvent toutefois des questionnements de la part des riverains et des salariés sur l'impact des émissions de ces installations sur la qualité de l'air.

Airbus Atlantic, a sollicité Air Pays de la Loire afin **de réaliser un état des lieux de la qualité de l'air** avant la mise en fonctionnement de la future chaufferie.

Dans un premier temps, une **étude de modélisation** de la dispersion des émissions de la future chaufferie a été menée afin de localiser un site de mesure susceptible d'être le plus impacté par la chaufferie. Par la suite, une **campagne de mesure** a été déployée du 20 février 2025 au 1^{er} avril 2025 au niveau de la zone identifiée par l'étude de modélisation, à 250 mètres de l'emplacement de la future chaufferie sous les vents de nord-est. Une seconde campagne sera menée une fois en fonctionnement, afin d'évaluer l'influence de la future chaufferie sur la qualité de l'air.

Des mesures de concentrations de particules PM10 et PM2.5 et de dioxyde d'azote NO₂ ont été réalisées et comparées la réglementation en vigueur et aux stations de mesure permanentes de la métropole nantaise. En complément, des mesures de carbone suie fournissant des informations supplémentaires sur l'origine des particules (combustion de biomasse, combustion de combustibles fossiles) et des mesures de particules ultrafines ont été réalisées.

Modélisation des zones de retombées maximales

Méthodologie

Le choix du site de mesure est un élément déterminant dans la réalisation d'une campagne de mesure et dans l'analyse de l'influence d'un établissement. Afin d'identifier le site le plus pertinent au regard des conditions météorologiques et des caractéristiques d'émission de la chaufferie (hauteur de cheminée, débit, etc...), Air Pays de la Loire a réalisé une étude de modélisation des zones de retombées maximales. Le but de cette étude de modélisation a donc été d'identifier un site de mesure susceptible d'être le plus impacté par les émissions de la future chaufferie.

Les concentrations des polluants PM10, PM2.5 et NO₂ ont été modélisées en moyennes annuelles, au niveau du sol, à proximité de la chaufferie à l'aide de l'outil AmpliSIM®. Il s'agit d'une plateforme de modélisation de la qualité de l'air mettant à disposition le modèle de dispersion AERMOD développé par US-EPA (*Environmental Protection Agency*).

Les conditions météorologiques utilisées dans cette étude ont été celles de la station Météo-France de Nantes-Atlantique relevées en 2024. Les résultats de la modélisation sont représentés par des cartes de concentrations indiquant en chaque point, la concentration moyenne annuelle calculée.

Afin de pouvoir modéliser les concentrations en NO₂, en PM10 et en PM2.5 dans l'air, il est nécessaire de connaître les rapports NO₂/NO_x, PM10/TSP et PM2.5/TSP en sortie de cheminée.

Le rapport NO₂/NO_x utilisé dans cette étude est de 5 % et est issu d'une étude commanditée par l'ADEME auprès d'experts¹.

Les rapports PM10/TSP et PM2.5/TSP utilisés sont respectivement de 95 % et 93 %. Ces rapports sont issus de la base de données EMEP/EEA 2023² relatifs aux facteurs d'émissions de chaudières biomasse.

Le domaine d'étude est d'approximativement 2,7 km x 2,7 km, centré sur le site de la future chaufferie. Les émissions des deux chaudières biomasse ont été modélisées comme étant deux rejets ponctuels. Les caractéristiques des deux chaudières sont résumées dans le tableau suivant :

	Chaudière 2 MW	Chaudière 6 MW
Hauteur (m)	21	21
Débîts (Nm³/h)	11 604	3 880
Températures d'éjection (°C)	126	128
Diamètres d'éjection (m)	0,8	0,48
Hypothèses de fonctionnement	En fonctionnement 100 % du temps à charge maximale	En fonctionnement à charge maximale entre octobre et mai ; à l'arrêt entre début juin et fin septembre

¹ Preau et al, 2013 ; Bonnes pratiques bas-NOx pour chaudières biomasse

² EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, European Environment Agency (EEA).

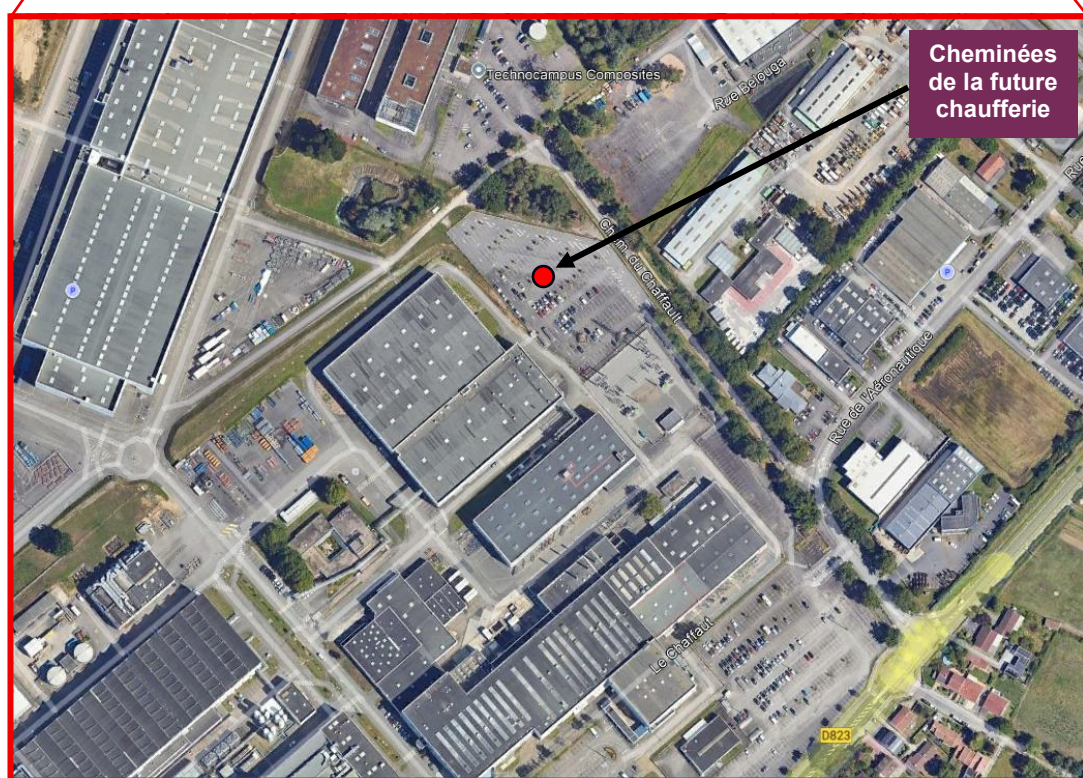


Figure 1 : localisation de la cheminée de la future chaufferie biomasse

Résultats de la modélisation des zones de retombées maximales

Les moyennes annuelles modélisées ont été représentées sous forme de cartes. Les concentrations modélisées sont issues uniquement des émissions spécifiques de la chaufferie.

Dioxyde d'azote NO₂

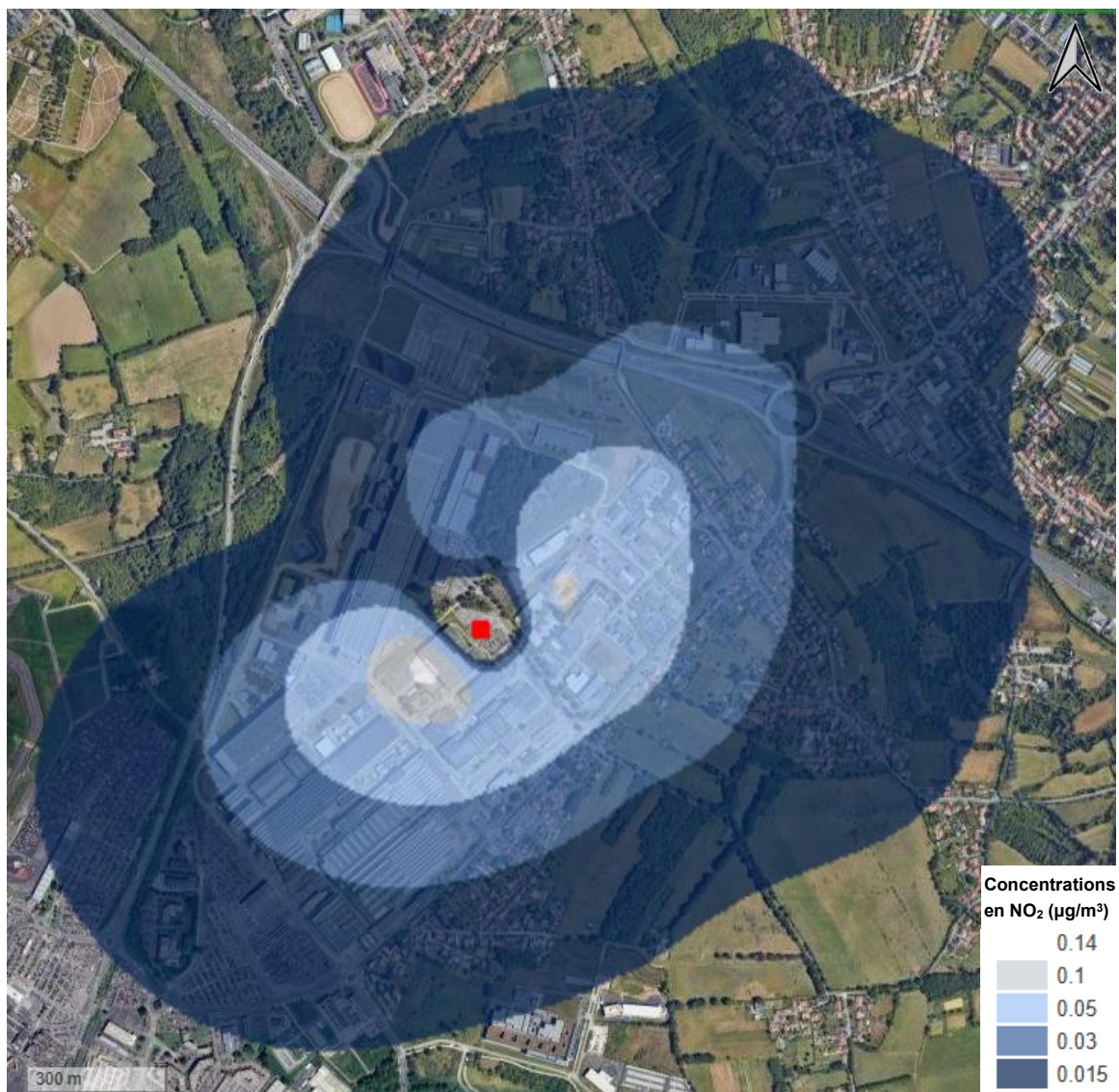


Figure 2 : modélisation des concentrations moyenne annuelle de NO₂ issues des émissions spécifiques de la future chaufferie biomasse

Les concentrations en NO₂ modélisées en moyenne annuelle indiquent deux zones de retombées, au sud-ouest et au nord-est de la future chaufferie. Elles sont maximales entre 140 et 270 mètres au sud-ouest de celle-ci, avec des concentrations allant de 0,1 µg/m³ à 0,15 µg/m³. Le niveau maximum modélisé est environ 53 fois plus faible que la moyenne annuelle relevée à la station urbaine du cimetière de la Bouteillerie à Nantes (8 µg/m³).

Les particules PM10

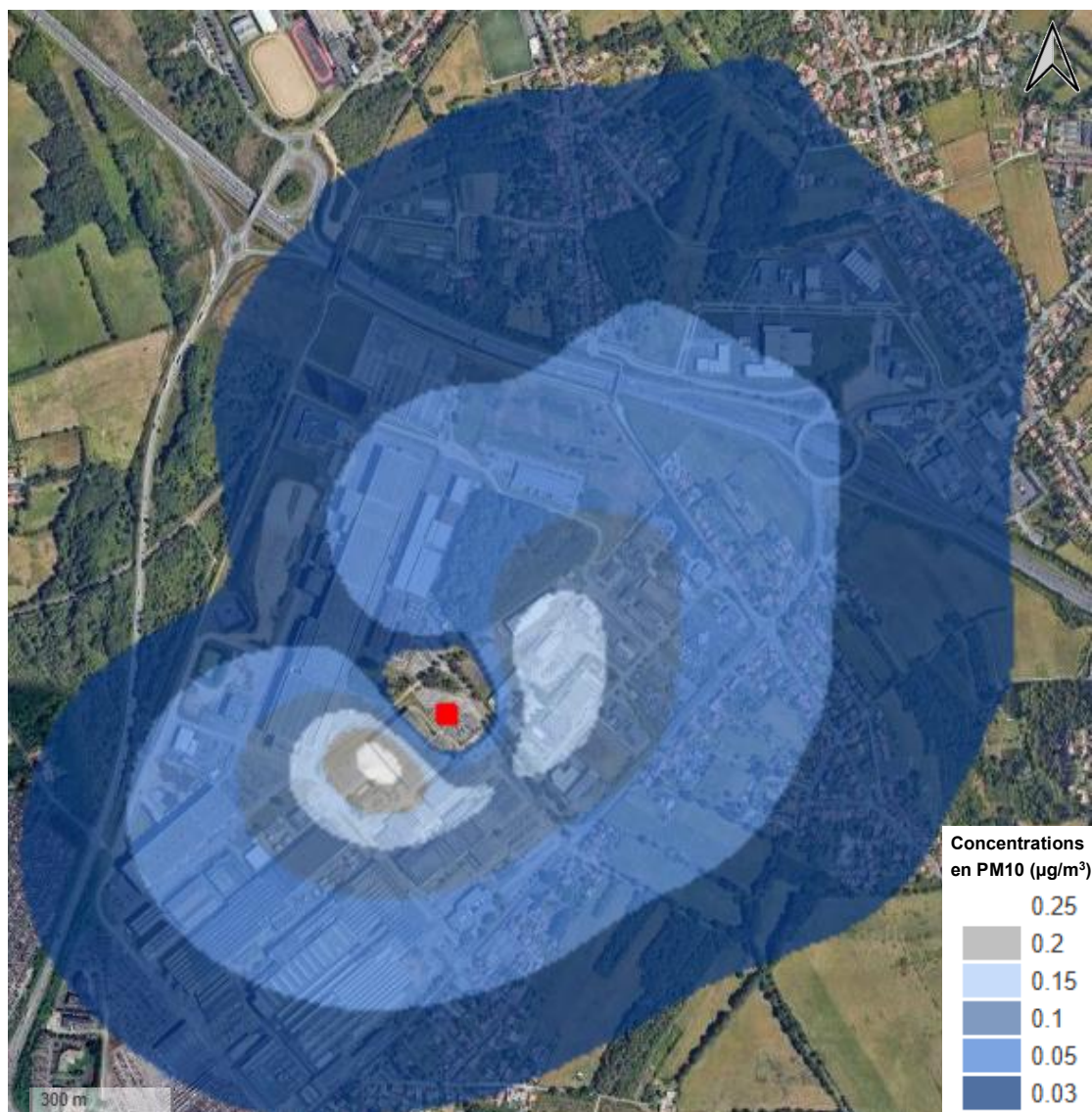


Figure 3 : modélisation des concentrations moyenne annuelle de PM10 issues des émissions spécifiques de la future chaufferie biomasse

Les concentrations de PM10 modélisées en moyenne annuelle indiquent également deux zones de retombées, au sud-ouest et au nord-est de la future chaufferie. Elles sont maximales entre 140 et 240 mètres au sud-ouest de celle-ci, sur le site d'Airbus, avec des concentrations allant de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le niveau maximum modélisé est environ 44 fois plus faible que la moyenne annuelle relevée à la station urbaine du cimetière de la Bouteillerie à Nantes ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les particules PM2.5

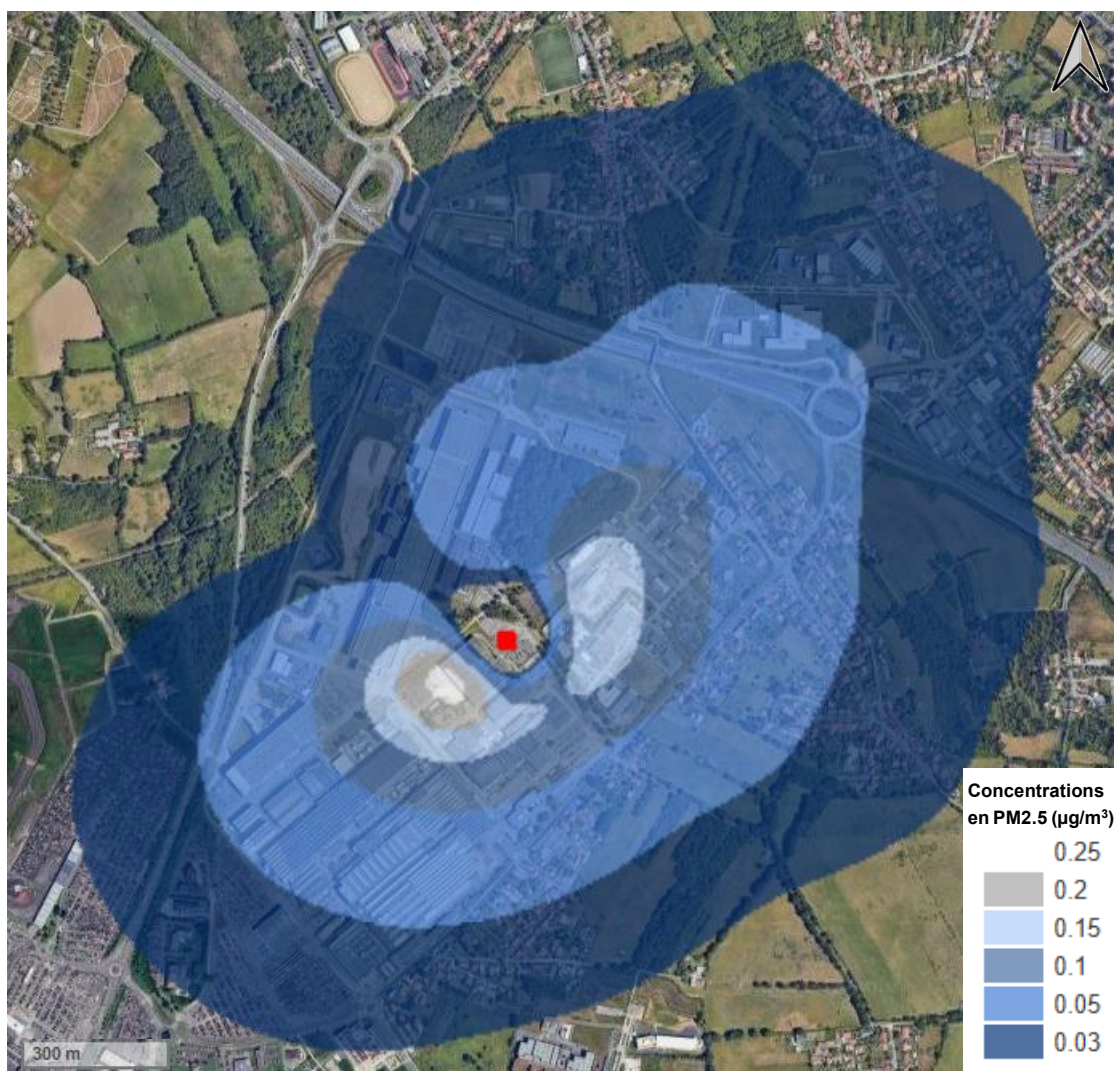


Figure 4 : modélisation des concentrations moyenne annuelle de PM2.5 issues des émissions spécifiques de la future chaufferie biomasse

De la même manière que pour le NO_2 et les PM10, les concentrations de PM2.5 modélisées indiquent également deux zones de retombées, au sud-ouest et au nord-est de la future chaufferie. Elles sont maximales entre 140 et 240 mètres au sud-ouest de celle-ci, sur le site d'Airbus, avec des concentrations allant de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Notons que les valeurs de PM2.5 modélisées sont proches de celles modélisées pour les PM10. Cela s'explique par le fait que la grande majorité (93%³) des particules totales TSP émises par une chaufferie biomasse correspond à des particules PM2.5, incluses dans les PM10.

Le niveau maximum modélisé est environ 28 fois plus faible que la moyenne annuelle relevée à la station urbaine du cimetière de la Bouteillerie à Nantes ($7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Finalement, l'étude de modélisation du NO_2 , des PM10 et des PM2.5 indique deux zones de retombées. Une première au nord-est de la future chaufferie, et une seconde au sud-ouest. Les concentrations modélisées, issues des émissions spécifiques de la chaufferie, sont plus élevées au sud-ouest, au sein du site d'Airbus mais restent 28 à 53 fois plus faibles que les niveaux retrouvés en milieu de fond urbain à Nantes.

Afin de caractériser l'influence de la future chaufferie, Air Pays de la Loire a préconisé une implantation de la remorque laboratoire sur la zone de retombées maximales située au sud-ouest de la future chaufferie.

³EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, European Environment Agency (EEA).

Dispositif de mesure

Afin d'établir l'état des lieux de la qualité de l'air, un laboratoire mobile a été installé sur site d'Airbus, dans la zone de retombées maximales identifiée par l'étude de modélisation de la dispersion des émissions de la future chaufferie.

Ce site est situé à 250 mètres de l'emplacement de la future chaufferie biomasse, et est sous son influence par vents de nord-est (40-50°N). Ces secteurs de vents font partie des vents les plus fréquents de la région (cf. rose des vents en figure 5), et est associée à des conditions météorologiques moins dispersives que les vents de sud-ouest. En effet, ces vents sont généralement associés à des conditions anticycloniques (vents et températures plus faibles) propices à l'accumulation des polluants.

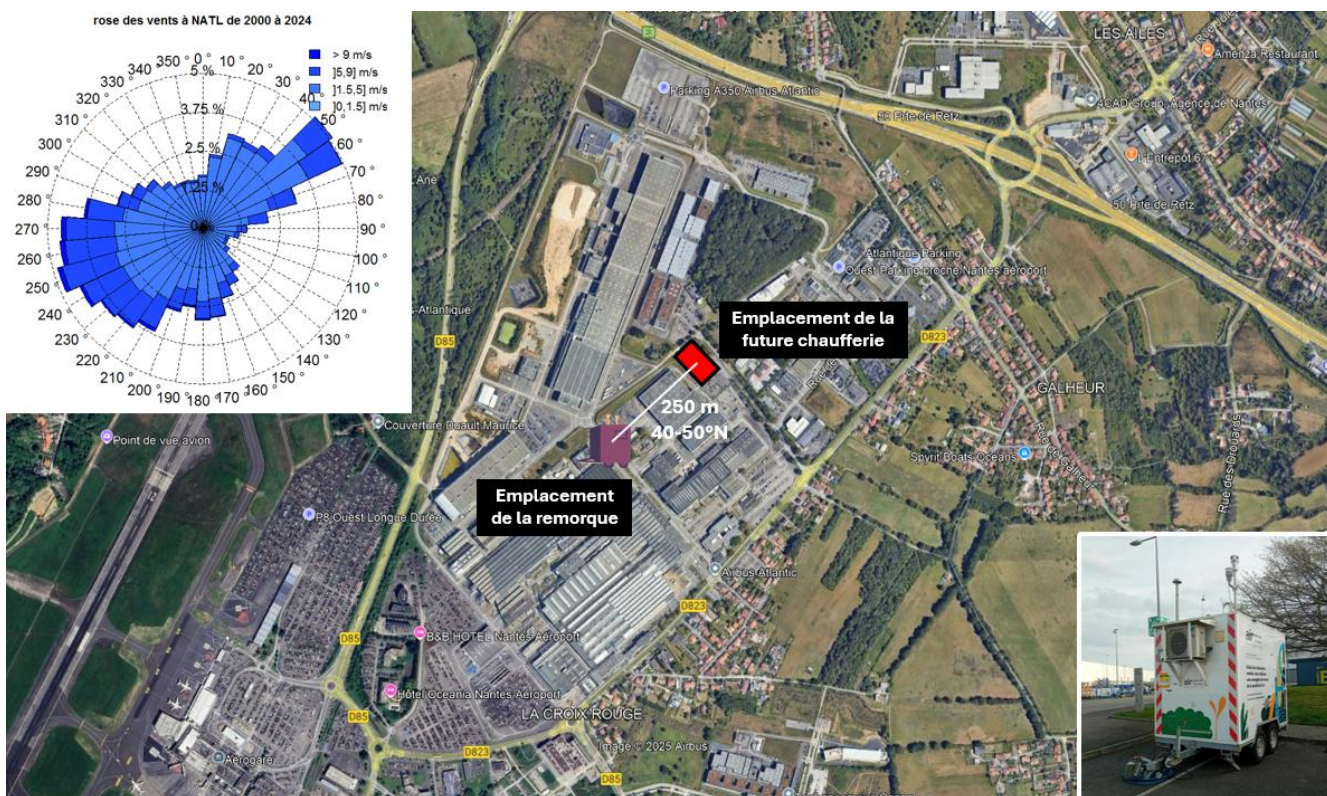


Figure 5 : emplacement du site d'implantation des instruments de mesure automatique (pictogramme violet) et de la chaufferie biomasse (encadré rouge)
En haut à gauche : rose des vents calculée sur 20 ans ; en bas à droite : photo de la station de mesure lors de la campagne

Le laboratoire mobile est équipé d'analyseurs automatiques permettant la mesure en continu du dioxyde d'azote et particules PM10 et PM2.5, au pas de temps quart-horaire. En effet, ces polluants sont régulièrement dans l'air ambiant, ont un impact sanitaire (présence de valeurs guides de l'OMS qui peuvent être dépassées en milieu urbain) et sont émis par les procédés de combustion, notamment la combustion de biomasse.

En complément, la part de particules de carbone suie issues de combustion biomasse a été estimée par un aéthalomètre AE-33. Ce type de mesure permet d'estimer la part de carbone suie émise par la combustion de biomasse et de la distinguer de la part émise par combustion fossile. Enfin, compte tenu de leurs enjeux en termes d'impacts sanitaires, les particules ultrafines (PUF) ont également été suivies. Les mesures ont été effectuées en période hivernale, du 20 février 2025 au 1^{er} avril 2025.

À des fins de comparaison, les mesures effectuées sur site d'Airbus sont comparées aux mesures permanentes effectuées sur le réseau de station de mesure d'Air Pays de la Loire :

- **Bouteillerie** : cette station située au cimetière de la Bouteillerie, à Nantes, mesure le niveau de fond urbain,
- **Saint-Etienne-de-Montluc** : cette station, située en milieu industriel peu influencé, est représentative d'un niveau de fond périurbain pour le dioxyde d'azote et les particules.

	Airbus	Bouteillerie	Saint-Etienne-de-Montluc
PM10 et PM2.5	✓	✓	✓
NO ₂	✓	✓	✓
Carbone suie	✓	✓	
PUF	✓		

Taux de disponibilité des mesures

Le tableau ci-dessous présente les taux de disponibilité des mesures par polluant sur la totalité de la campagne.

	PM10	PM2.5	NO ₂	AE33 (part biomasse)	PUF
Taux de validité des mesures sur le mois de campagne	99,3 %	99,3 %	99,0 %	97,7 %	87,3 %

Conditions météorologiques

Au cours de la campagne de mesure, les vents de secteur nord-est ont été largement majoritaires, tandis que les flux de sud-ouest ont été sous-représentés par rapport aux normales. Ces flux de nord-est sont représentatifs de conditions anticycloniques.

Le site de mesure est exposé aux vents de la future chaufferie pour les directions de vents de 40°N et 50°N. Ces vents ont représenté 125 heures au cours de la campagne, soit près de 13 % du temps de mesure (cf. rose des vents ci-dessous).

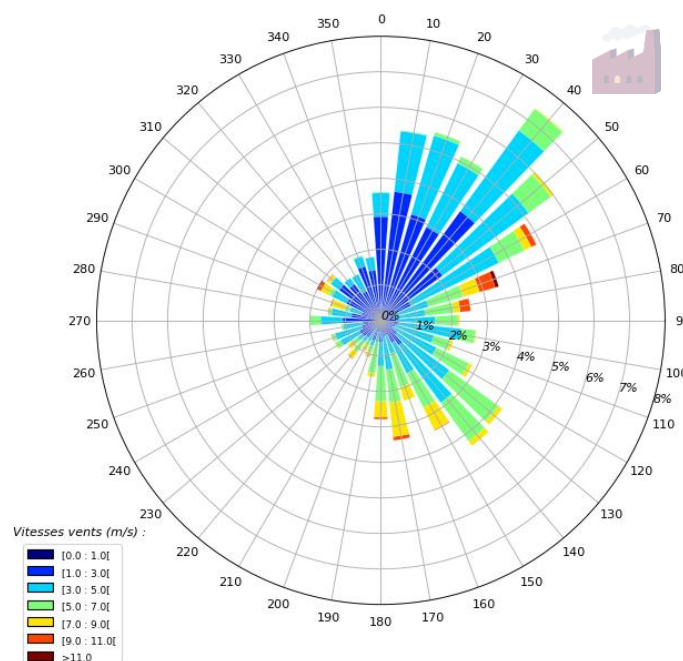


Figure 6 : rose des vents à Nantes-Atlantique du 20 février au 1^{er} avril 2025 (source : Météo-France)

Rose des vents

La rose des vents est un moyen de représenter dans un même graphique la direction et la vitesse moyenne des vents mesurés à un point donné, dans notre cas une station Météo-France.

Comment lire une rose des vents :

- L'orientation (la provenance) des vents par rapport au nord est indiquée sur l'axe extérieur.
- 0° = nord, 90° = est, 180° = sud, 270° = ouest.
- La longueur d'une pale indique la proportion (sur les axes verticaux et circulaires intérieurs) de vents mesurés pour une orientation donnée. Plus une pale est longue, plus la station a mesuré de vents en provenance de cette orientation.
- Les classes de vitesse de vents (en m/s) sont représentées par un dégradé de couleur.

Situation vis-à-vis de la réglementation

VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LA QUALITÉ DE L'AIR

Les valeurs guides de l'OMS : *NON CONTRAIGNANTES*

L'OMS (Organisation mondiale de la santé) détermine les niveaux d'exposition (en concentrations et durées) pour protéger la santé des populations et des végétaux, ce sont les « valeurs guides ». Ces lignes directrices visent à donner des conseils sur la façon de réduire les effets sanitaires de la pollution de l'air aux responsables de l'élaboration des politiques. Les dernières valeurs guides publiées par l'OMS datent de septembre 2021.

Les valeurs réglementaires :

Les concentrations de polluants dans l'air sont réglementées au niveau européen dans des directives, et sont déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

- **Seuils de déclenchement des épisodes de pollution :** *exposition court terme à une pollution aigüe (1h à 24h)*

CONTRAIGNANTES

• **Seuil d'information et de recommandation :** seuil à partir duquel la concentration d'un polluant atmosphérique peut représenter un risque pour la santé humaine des populations sensibles et justifie une information auprès du grand public.

• **Seuil d'alerte :** seuil au-delà duquel la concentration d'un polluant atmosphérique représente un risque pour la santé humaine et justifie la mise en place de mesures d'urgence afin de réduire les émissions.

- **Autres seuils réglementaires :** *exposition court terme à long terme (1h à 1 an)*

CONTRAIGNANTE

• **Valeur limite :** niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution sur la santé humaine et/ou l'environnement.

NON CONTRAIGNANTES

• **Objectif de qualité :** niveau de pollution atmosphérique à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution sur la santé humaine et/ou l'environnement.

• **Valeur cible :** niveau à atteindre dans la mesure du possible dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution sur la santé humaine et/ou l'environnement.

Résultats pour les particules PM10



Les particules fines PM10 et PM2,5 ont un diamètre respectivement inférieur à 10µm et 2,5µm, elles sont de nature variée, naturelles ou d'origine humaine. Les PM10 proviennent principalement de l'agriculture, du chauffage au bois, de l'usure des routes, des carrières et chantiers BTP. Les PM2,5 sont essentiellement liées au chauffage au bois, à l'industrie, à l'agriculture et aux transports routiers.



Les épisodes de pollution par les particules fines se produisent principalement l'hiver ou au printemps.



Les phénomènes sont généralement de grande envergure (échelle régionale ou nationale). La pollution produite localement s'ajoute alors à une pollution importée d'autres régions.



Selon leur taille, les particules pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire. Les particules les plus fines peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérogènes.



Les effets de salissure des bâtiments et des monuments sont les atteintes les plus évidentes. Certaines particules fines, appelées « carbone suie », contribueraient au réchauffement climatique.

Les concentrations en particules PM10 sont réglementées en France à quatre niveaux :

- Un **seuil d'information** et de recommandation fixé à 50 µg/m³ en moyenne journalière et d'un **seuil d'alerte** fixé à 80 µg/m³ en moyenne journalière.
- Cette valeur journalière de 50 µg/m³ ne doit pas être dépassée plus de 35 jours par an (**valeur limite** en moyenne journalière).
- La moyenne annuelle des concentrations fait l'objet d'une **valeur limite**, fixée à 40 µg/m³, et d'un **objectif de qualité** fixé à 30 µg/m³.
- À titre d'information, l'OMS indique une valeur guide de 45 µg/m³ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an, et 15 µg/m³ en moyenne annuelle.

La figure ci-dessous représente sous forme de boxplot (cf. encadré Méthodologie) la distribution statistique des concentrations horaires relevées tout au long de la campagne de mesure.

Méthodologie

Le graphique ci-dessus est une boîte à moustaches (aussi appelée boxplot), il représente les principales caractéristiques statistiques d'une série de données, ici l'ensemble des mesures horaires :

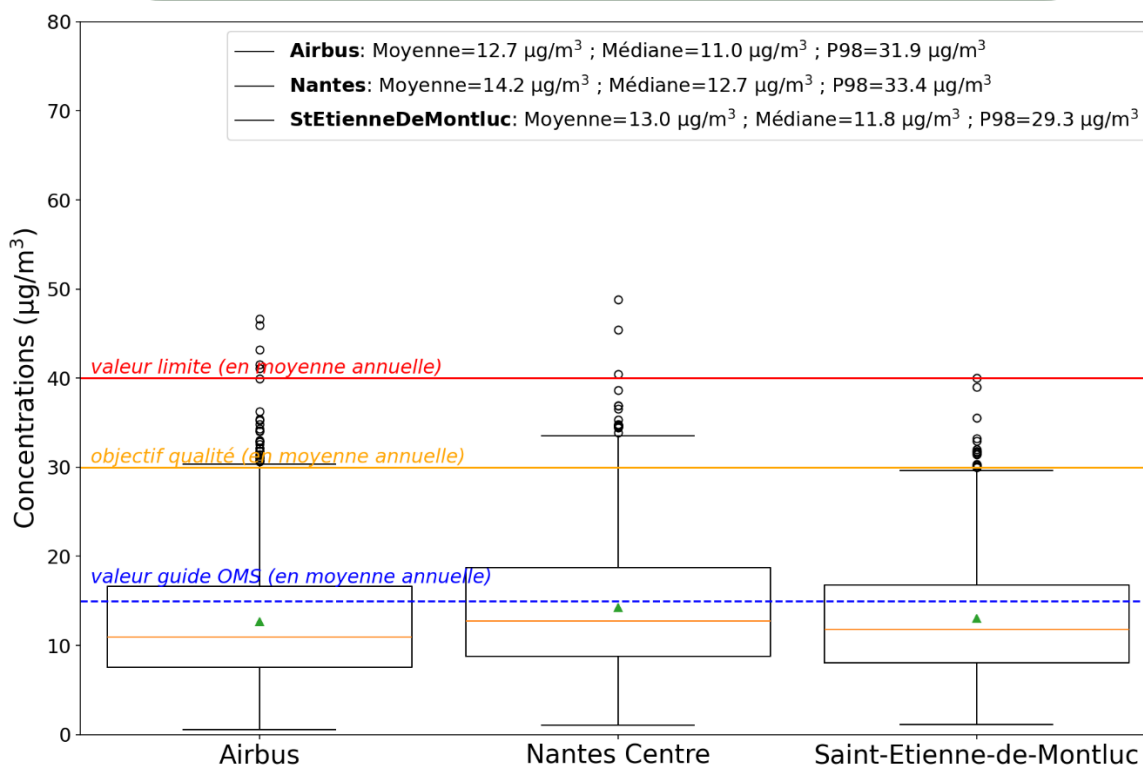
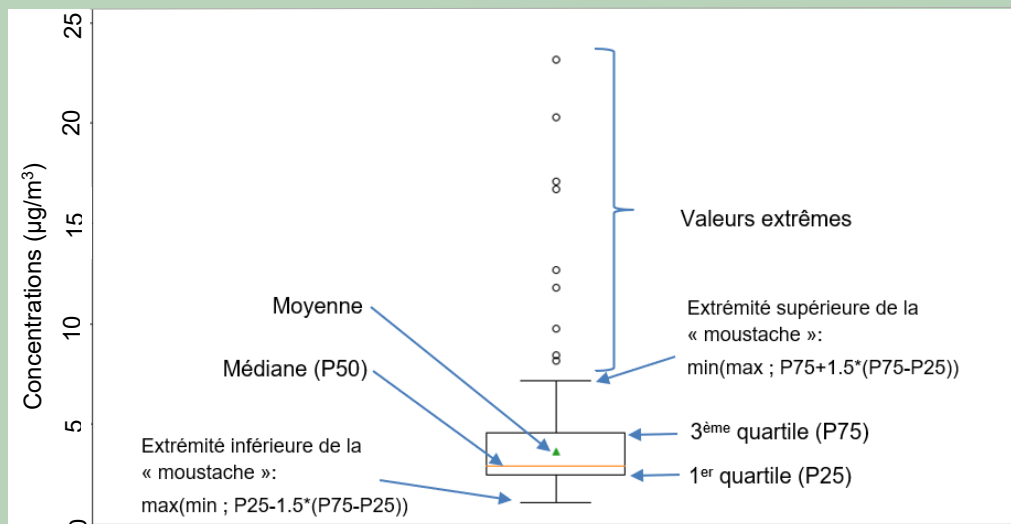


Figure 7 : boxplot des concentrations horaires en PM_{10} , du 20 février au 1^{er} avril 2025

Ces résultats montrent que :

- La concentration moyenne en PM_{10} sur le site d'Airbus (12,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) est inférieure à celle relevée en milieu urbain de Nantes (14,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au cimetière de la Bouteillerie), et est de même ordre que celle relevée en milieu périurbain (13,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Etienne-de-Montluc).
- L'objectif de qualité, fixé à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et la valeur limite fixée à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ont une forte probabilité de ne pas être dépassés en moyenne annuelle par comparaison aux mesures permanentes qui n'ont pas dépassé ces valeurs en 2024 et les années précédentes.
- Compte-tenu des niveaux plus faibles qu'en milieu urbain de Nantes, et similaires à ceux relevés en milieu périurbain de Saint-Etienne-de-Montluc, il est probable que la valeur guide de l'OMS fixée à 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, soit respectée.

La figure ci-dessous présente l'évolution des concentrations journalières en PM10 durant la campagne.

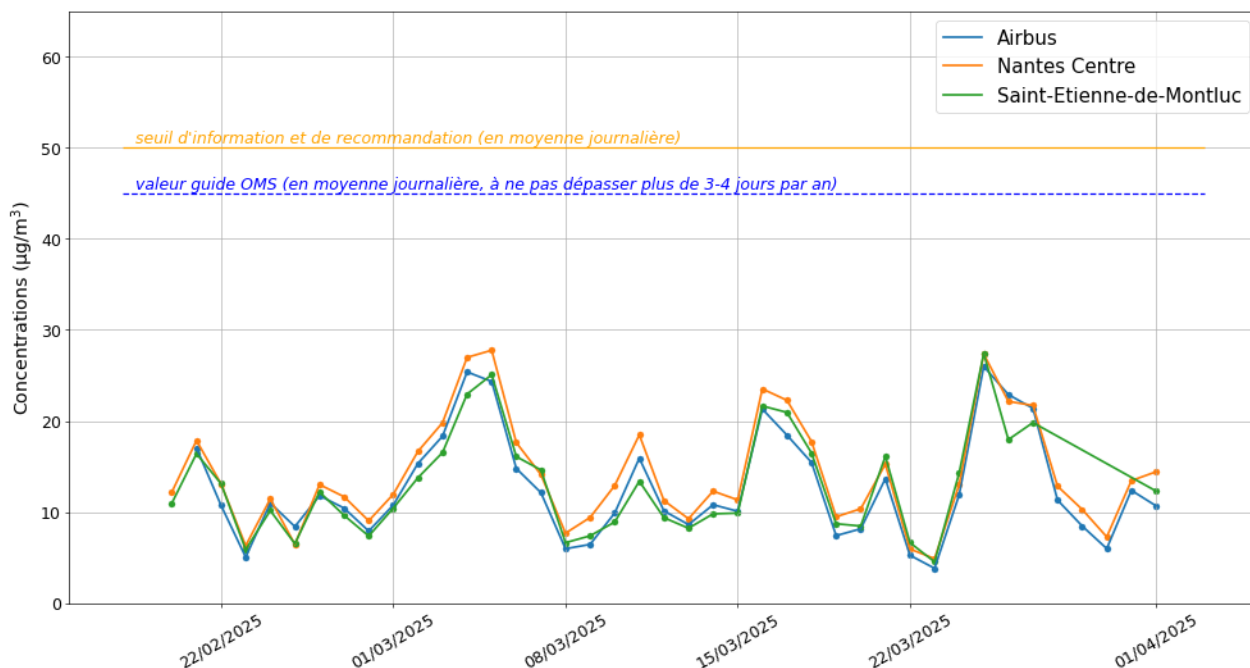


Figure 8 : évolution des concentrations journalières en PM10, du 20 février au 1^{er} avril 2025

Ces résultats montrent que :

- Les concentrations en PM10 évoluent de manière synchrone entre les trois sites, traduisant une influence régionale sur ce polluant.
- Les niveaux relevés sur le site d'Airbus sont proches de ceux relevés en milieu péri-urbain de Saint-Etienne-de-Montluc.
- Le seuil d'information et de recommandation n'a jamais été dépassé au cours de la campagne de mesure.
- Par comparaison aux stations permanentes, la valeur limite a de fortes probabilités d'être respectée. En revanche, le risque de dépassement n'est pas à exclure pour la valeur guide de l'OMS définie en moyenne journalière (45 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an) compte-tenu du dépassement de cette valeur sur certaines stations urbaines de Nantes les années passées.

Afin de caractériser la provenance des particules PM10, des roses de pollution sont tracées dans la suite :

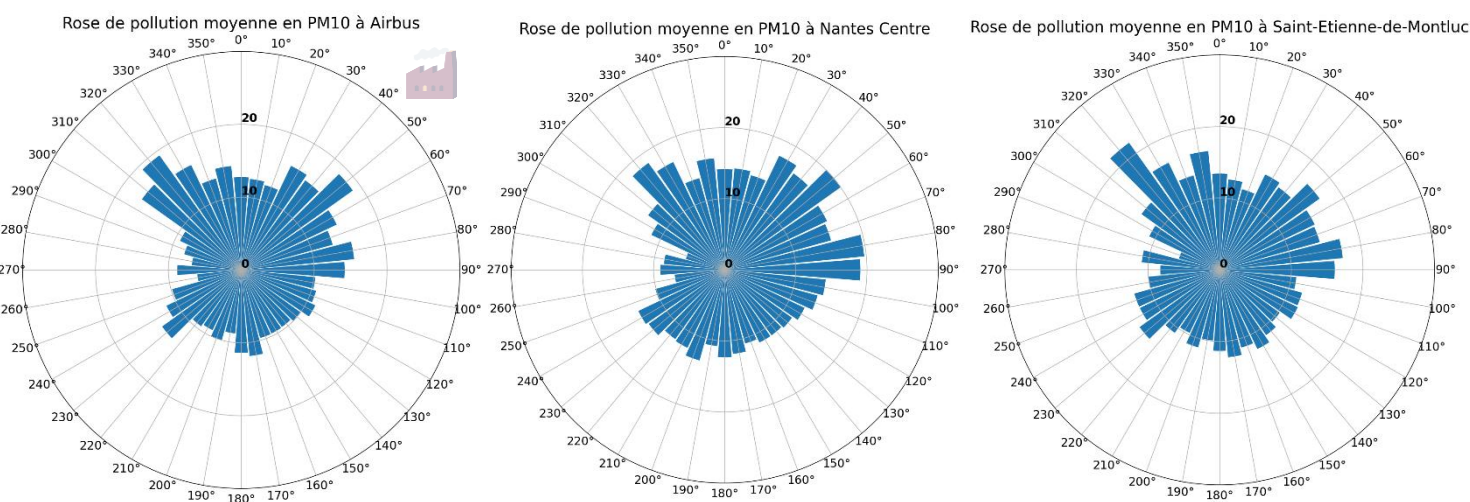


Figure 9 : roses de pollution moyennes en particules PM10 sur le site d'Airbus (à gauche), Nantes (au milieu) et Saint-Etienne-de-Montluc (à droite), du 20 février au 1^{er} avril 2025

Ces résultats montrent :

- Des niveaux plus élevés par vents de nord-ouest, nord-est et est. Ces directions privilégiées sont présentes sur les trois roses de pollutions, confirmant l'influence régionale.

La figure ci-dessous présente l'évolution des concentrations en PM10 au sein d'une journée moyenne, lorsque les vents proviennent des directions 40°N et 50°N, en provenance de la future chaufferie biomasse :

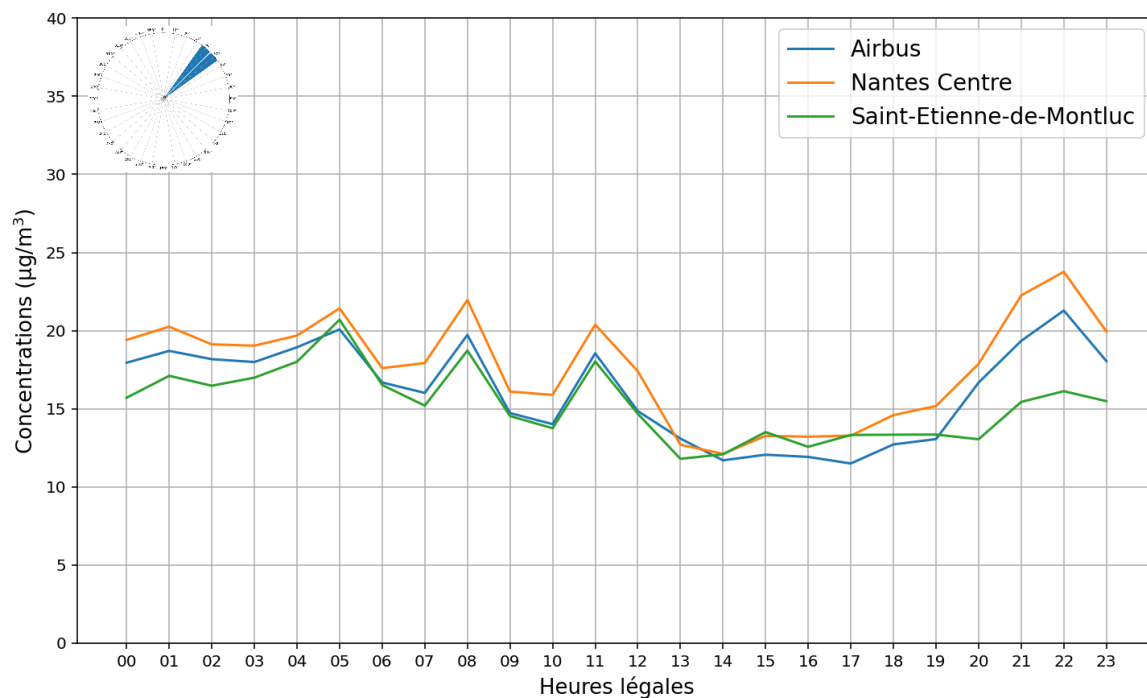


Figure 10 : profil journalier des concentrations en PM10 par vents provenant des directions 40°N et 50°N, du 20 février au 1^{er} avril 2025

Ces résultats montrent que :

- Lorsque les vents proviennent de la future chaufferie, les concentrations en PM10 sur le site d'Airbus sont inférieures à celles relevées sur le site de la Bouteillerie, quelle que soit l'heure de la journée, et sont par ailleurs bien corrélées.
- Une hausse des concentrations est observée le soir, en lien avec le recours au chauffage résidentiel.

Résultats pour les particules PM2.5

Les concentrations en particules fines PM2.5 sont soumises en France à deux seuils en valeur moyenne annuelle :

- Une valeur limite annuelle fixée à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Un objectif de qualité de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.
- À titre d'information, l'OMS indique une valeur guide de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an, et 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

La figure ci-dessous présente sous forme d'un boxplot les statistiques de mesure PM2.5 au cours de la campagne.

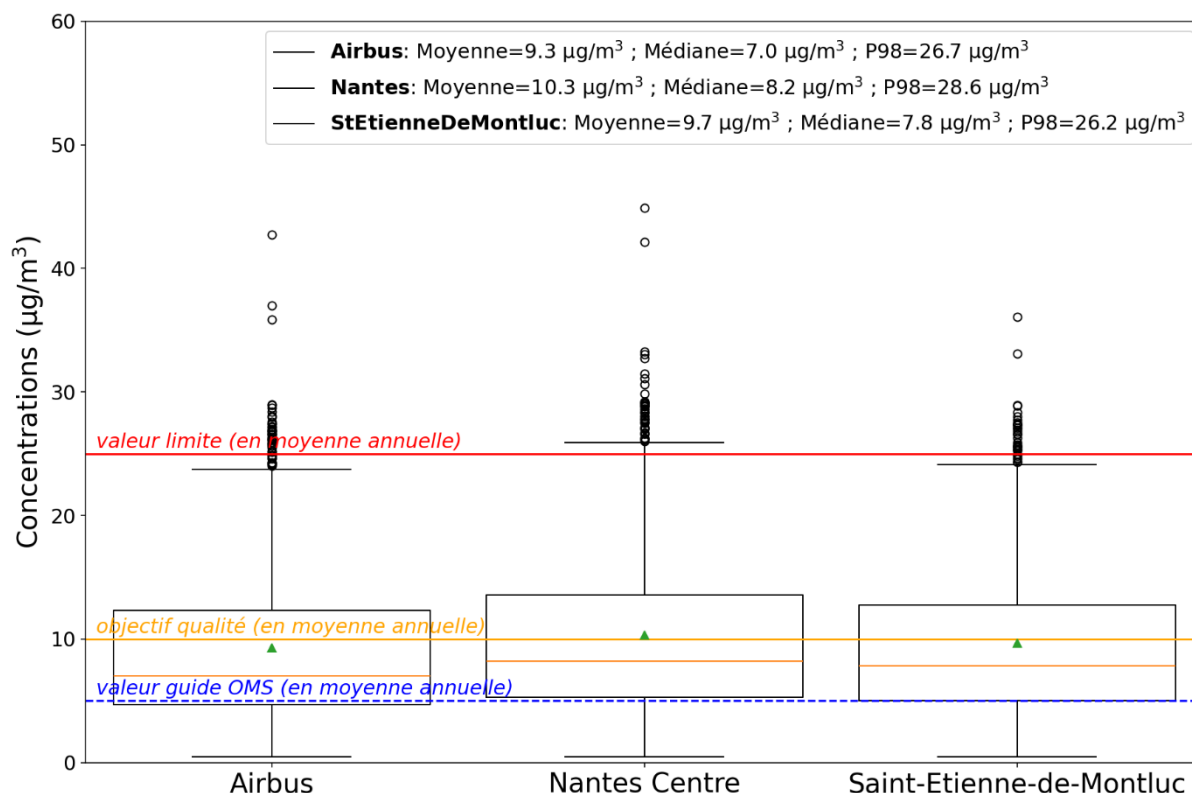


Figure 11 : boxplot des concentrations horaires en PM2.5, du 20 février au 1^{er} avril 2025

Ces résultats montrent que :

- Les concentrations moyennes en PM2.5 sont plus faibles sur le site d'Airbus qu'en milieu urbain de Nantes, et de même ordre qu'en milieu péri-urbain de Saint-Etienne-de-Montluc.
- Vis-à-vis de la réglementation, par comparaison avec les stations de mesure permanentes Nantes, il est probable que l'objectif de qualité (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et que la valeur limite annuelle (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) soient respectés sur site d'Airbus.
- La valeur guide annuelle préconisée par l'OMS (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a toutefois de fortes chances d'être dépassée, ce seuil étant dépassé sur l'ensemble des stations de mesure permanentes de la région en 2024 et les années précédentes.

L'évolution des concentrations moyennes journalières des PM2.5 confirme le comportement régional des particules avec une évolution fortement corrélée entre les 3 sites de mesure.

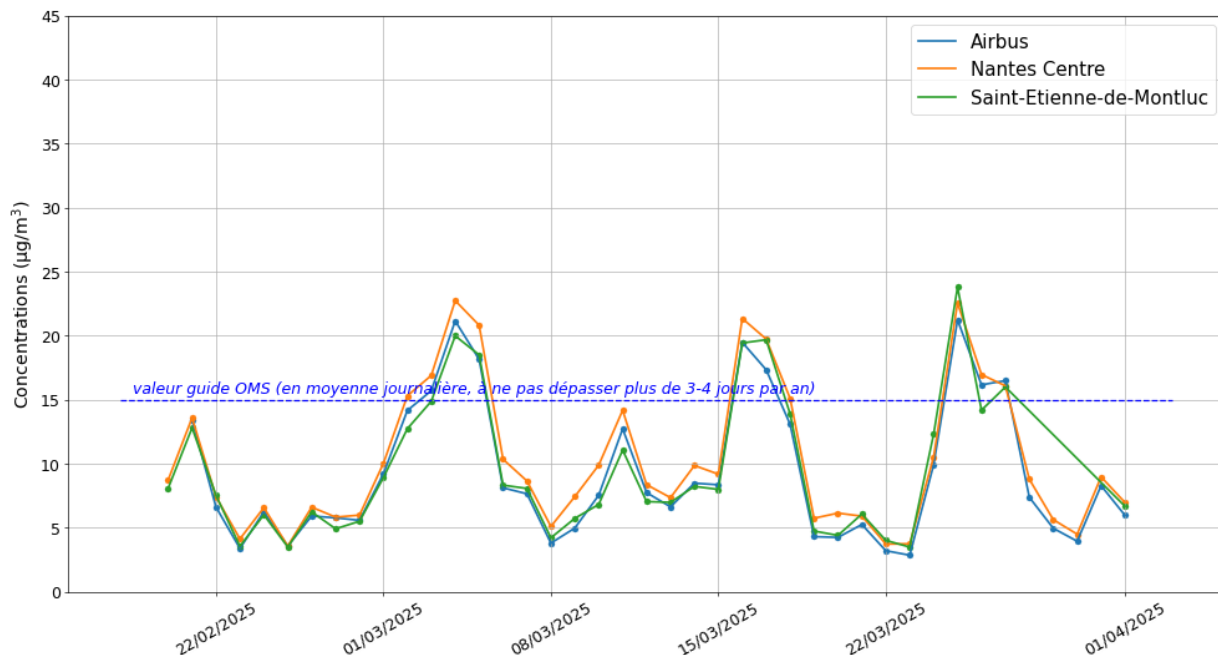


Figure 12 : évolution des concentrations journalières en PM2.5 au cours de la campagne

Au cours de la campagne de mesure, la valeur guide journalière de l'OMS a été dépassée ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an). En effet, durant 8 jours (autour des 4 mars, 17 mars et 25 mars), les concentrations journalières étaient supérieures à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le site d'Airbus, ainsi que sur les autres sites de mesure, témoignant d'un phénomène régional, en lien avec l'import d'une masse d'air chargée en particules en provenance du Benelux et d'Allemagne (cf. annexe 1 : import de masses d'air chargées en particules) conjugué à des conditions météorologiques propices à l'accumulation des polluants (vents et températures faibles) ainsi qu'au recours au chauffage individuel. Cet épisode a concerné la moitié nord de la France les 4 et 25 mars, et plutôt le centre et l'ouest de la France le 17 mars.

Des roses de pollution sont présentées dans la suite afin de caractériser la provenance des particules PM2.5 :

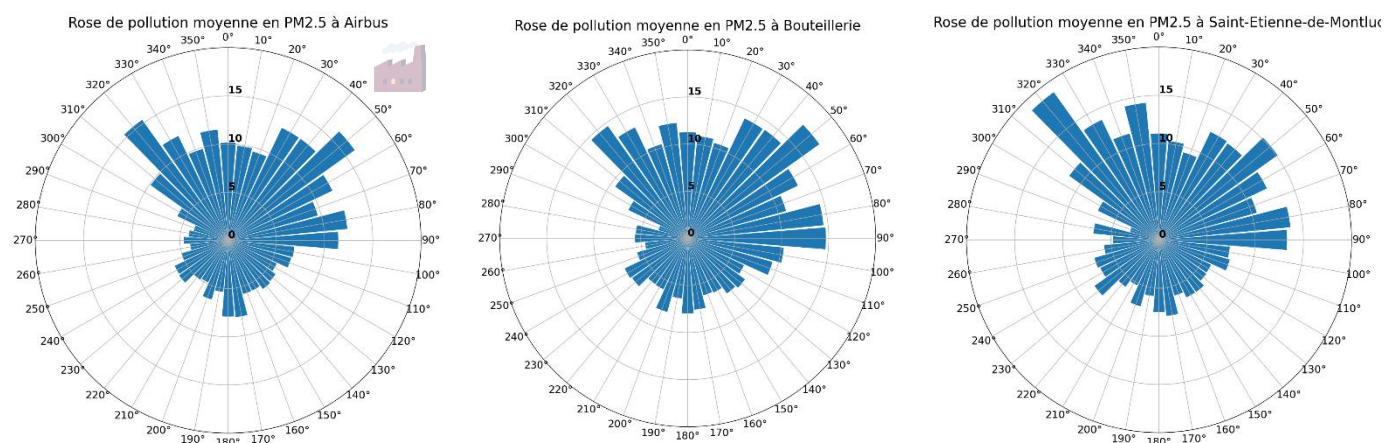


Figure 13 : roses de pollution moyennes en particules PM2.5 sur le site d'Airbus (à gauche), Nantes (au milieu) et Saint-Etienne-de-Montluc (à droite), du 20 février au 1^{er} avril 2025

Ces résultats montrent :

- Des niveaux plus élevés par vents de nord-ouest à est. Ces directions privilégiées sont présentes sur les trois roses de pollutions, confirmant une influence régionale.
- Aucune influence particulière n'est relevée sur le site d'Airbus comparativement aux deux autres sites.

L'évolution des concentrations au sein de la journée, lorsque les vents proviennent de la direction de la future chaufferie (40°N - 50°N) est présentée ci-dessous :

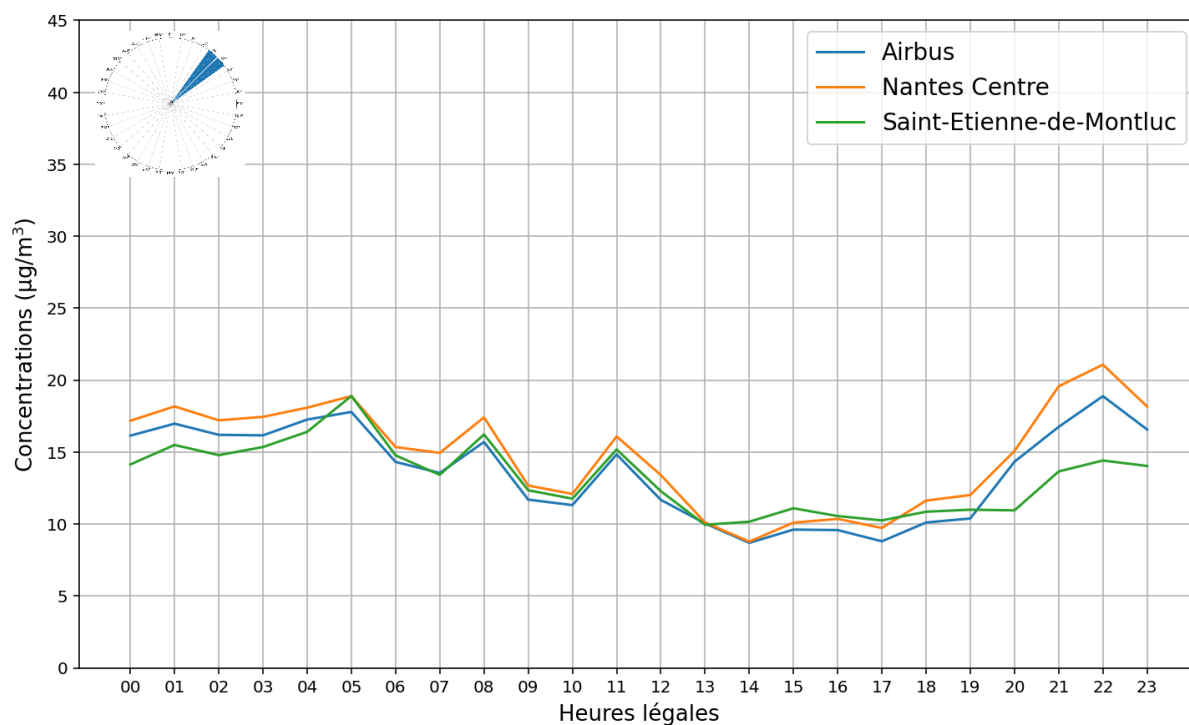


Figure 14 : profil journalier des concentrations en PM2.5 par vents provenant de la direction de la future chaufferie

Ces résultats montrent que :

- Lorsque les vents proviennent de la future chaufferie, les concentrations en PM2.5 à Airbus sont fortement corrélées à celles retrouvées en milieu urbain de Nantes. Les niveaux sont par ailleurs plus faibles, quel que soit l'heure.

Résultats pour le dioxyde d'azote NO₂

 Le monoxyde d'azote (NO) se forme par combinaison de l'azote et de l'oxygène atmosphériques lors des combustions. Ce polluant, principalement émis par les pots d'échappement, se transforme rapidement en dioxyde d'azote (NO₂).	 Les NO_x présentent en milieu urbain deux pics de pollution aux heures de pointe du matin et du soir. À l'échelle annuelle, la pollution est plus forte en hiver avec des émissions plus importantes et des conditions de dispersion moins favorables.	 Les taux de NO_x sont généralement plus élevés près des voies de circulation et sous les vents des établissements industriels à rejets importants.	 Le NO₂ est irritant pour les bronches. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires.	 Les NO_x participent à la formation des pluies acides. Sous l'effet du soleil, ils favorisent la formation d'ozone et contribuent ainsi indirectement à l'accroissement de l'effet de serre.
---	---	---	--	---

Les oxydes d'azote (NO_x) correspondent à la somme des concentrations de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO₂). Les procédés de combustion, incluant la combustion du bois, conduisent à l'émission principalement de monoxyde d'azote (NO), qui s'oxyde rapidement pour former le dioxyde d'azote (NO₂). En termes d'impact sanitaire, seul le dioxyde d'azote (NO₂) est réglementé dans l'air ambiant.

Les concentrations en dioxyde d'azote sont réglementées à 3 niveaux :

- Une **valeur limite et un objectif de qualité en moyenne annuelle** fixés à 40 µg/m³.
- Une **valeur limite en moyenne horaire** fixée à 200 µg/m³, à ne pas dépasser plus de 18 heures par an.
- Un **seuil d'information et de recommandation** fixé à 200 µg/m³ en moyenne horaire, et un seuil d'alerte fixé à 400 µg/m³ en moyenne horaire.
- À titre d'information, l'OMS (2021) préconise des valeurs guides de 200 µg/m³ en moyenne horaire, 25 µg/m³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an, et 10 µg/m³ en moyenne annuelle.

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot (cf. encadré *Méthodologie*) la répartition statistique des mesures sur les 3 sites de mesure au cours de la campagne.

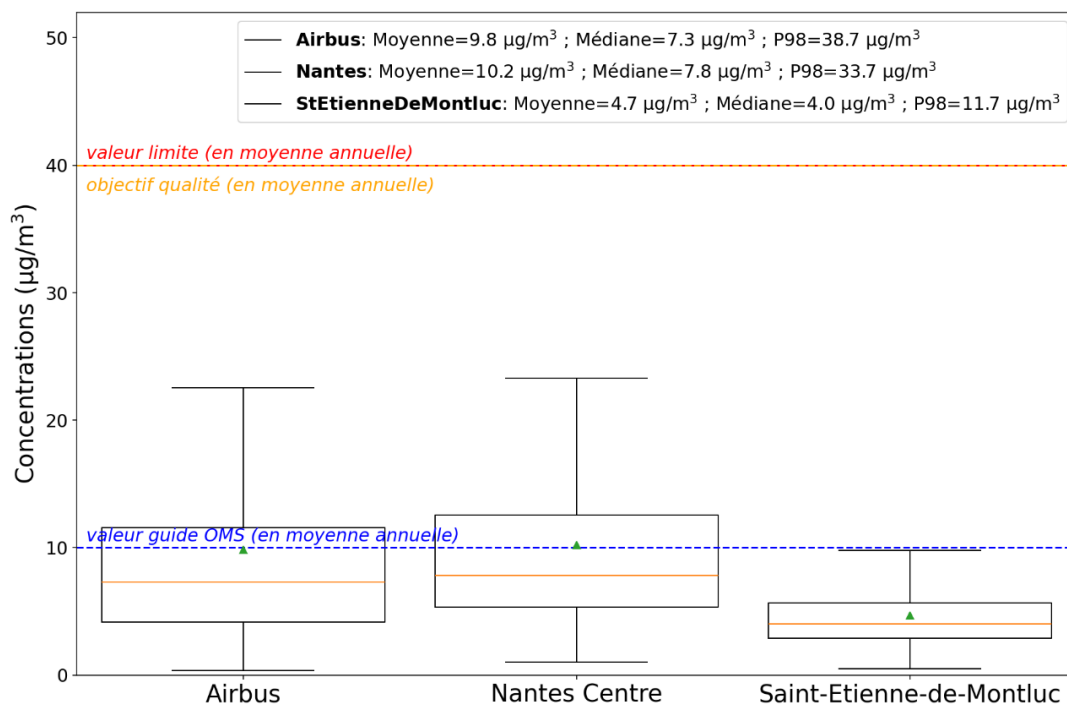


Figure 15 : boxplot des concentrations horaires en NO₂, du 20 février au 1^{er} avril 2025.

Ces résultats montrent que :

- Les concentrations en NO₂ sur le site d'Airbus (9,8 µg/m³ en moyenne) sont proches de celles relevées en milieu urbain de Nantes (10,2 µg/m³ à la station du cimetière de la Bouteillerie), et supérieures au milieu périurbain (4,7 µg/m³ à Saint-Etienne-de-Montluc). Cela s'explique par une influence du trafic routier comparable sur site d'Airbus par rapport au site de la Bouteillerie.
- Du point de vue de la réglementation, par comparaison à la station de la Bouteillerie qui respecte la valeur limite en moyenne annuelle, il est probable que ce seuil soit également respecté sur le site d'Airbus.
- Un dépassement de la valeur guide de l'OMS (10 µg/m³ en moyenne annuelle) n'est pas à exclure sachant que certaines stations de l'agglomération Nantaise peuvent dépasser cette valeur guide de l'OMS selon les années (l'ensemble des quatre stations urbaines en 2022, une des trois stations en 2023, et aucune en 2024).

La figure suivante présente l'évolution des concentrations moyennes journalières en NO₂ durant la campagne.

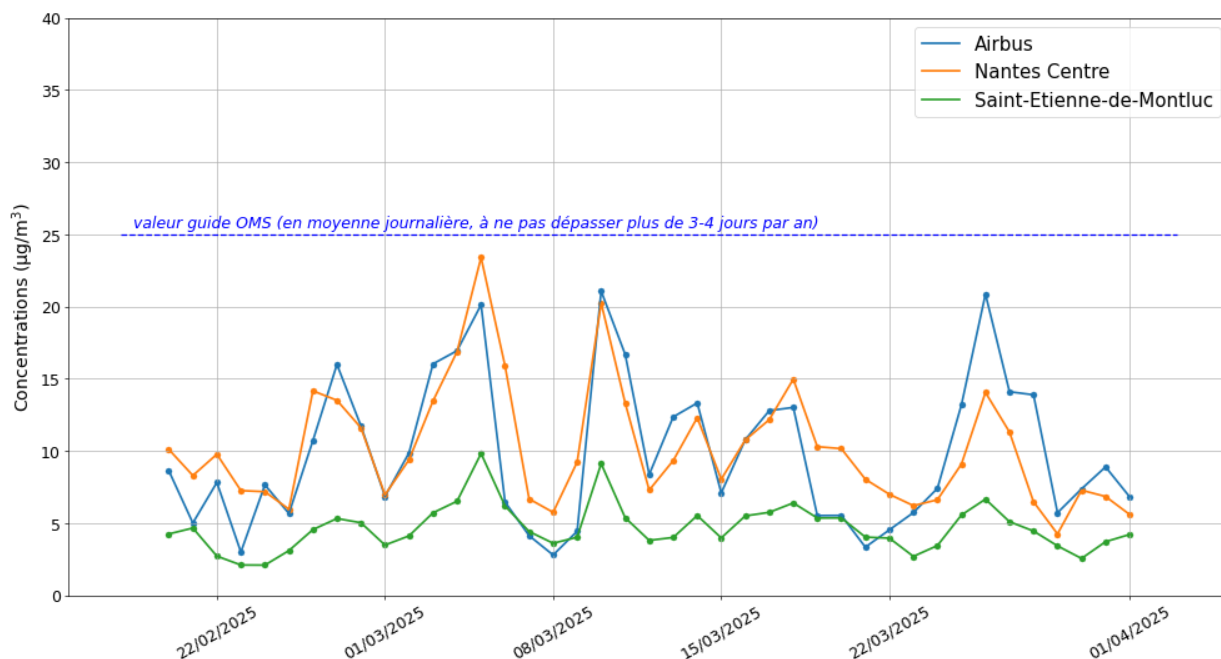


Figure 16 : évolution des concentrations moyennes journalières de NO₂ au cours de la campagne

Ces résultats montrent que :

- Les niveaux journaliers moyens de NO₂ relevés sur le site d'Airbus sont proches de celles de la station urbaine de Nantes et supérieures à celles de Saint-Etienne-de-Montluc. On remarque des niveaux plus élevés lors des événements des 5 mars et 25 mars, en lien avec des conditions météorologiques propices à l'accumulation des polluants.
- Un dépassement de la valeur guide de l'OMS de 25 µg/m³ en moyenne journalière (à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an) n'est pas à exclure sachant que cette valeur a été dépassée sur l'ensemble de l'agglomération nantaise en 2021, 2022 et 2023 et sur l'une des trois stations urbaines en 2024.

La figure ci-dessous montre l'évolution des concentrations horaires maximales par jour au cours de la campagne.

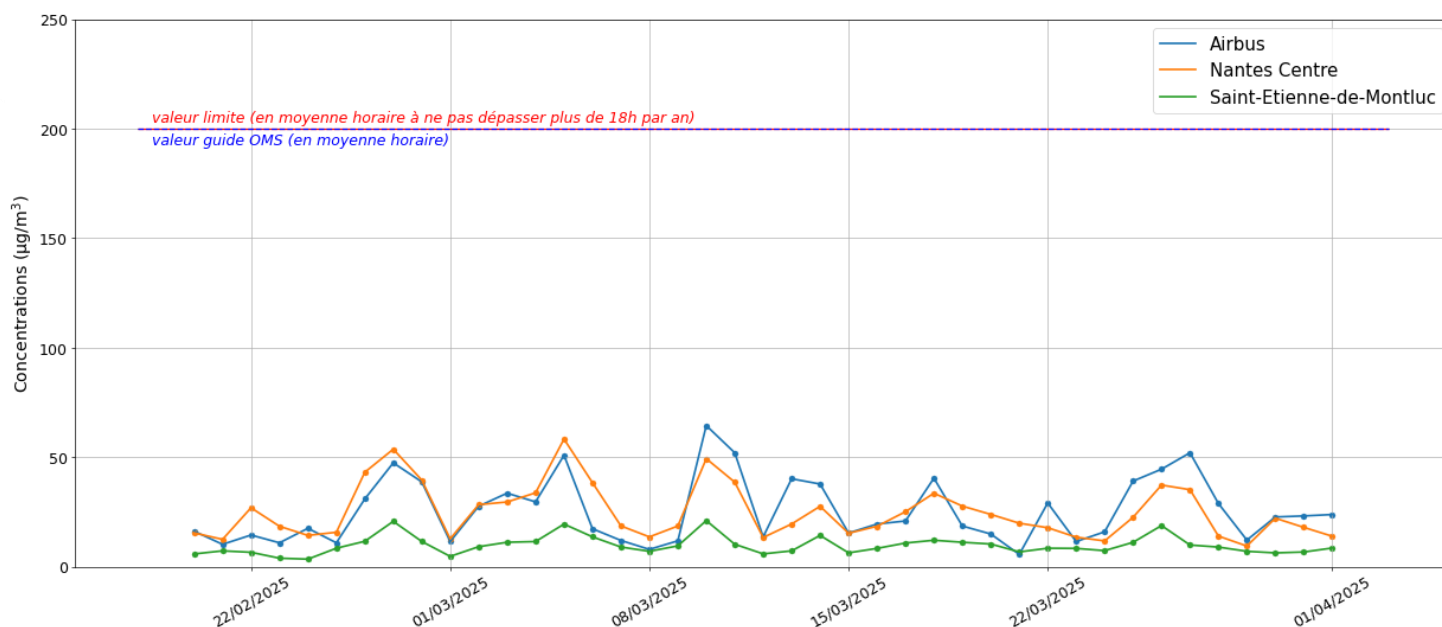


Figure 17 : évolution des concentrations horaires maximales de NO₂ par jour au cours de la campagne

Ces résultats montrent que :

- Une bonne corrélation entre les niveaux relevés sur site d'Airbus et du site de fond urbain de Nantes.
- Sur l'ensemble des journées de la campagne, la valeur guide de l'OMS (200 µg/m³ en moyenne horaire) n'est jamais atteinte (max horaire de 64,5 µg/m³ le 10/03/2025 à 22h, soit environ 3 fois plus faible que la valeur guide de l'OMS).

La figure suivante présente les roses de pollution permettant de caractériser la provenance du NO₂ :

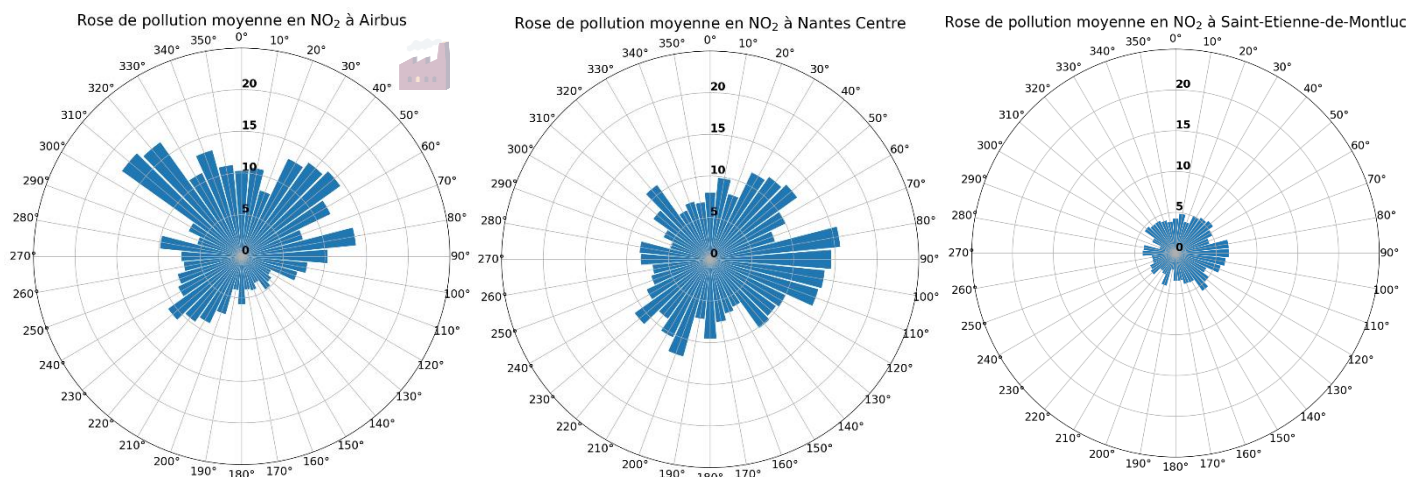


Figure 18 : roses de pollution moyennes en particules NO₂ sur le site d'Airbus (à gauche), Nantes (au milieu) et Saint-Etienne-de-Montluc (à droite), du 20 février au 1^{er} avril 2025

Ces résultats montrent :

- Une influence provenant du nord-ouest sur le site d'Airbus, qui n'est pas retrouvée sur les deux autres sites. Des élévations en NO ont été enregistrés par vents de 310°N (cf. annexe 2 : roses de pollution du NO et NO₂ sur site d'Airbus), suggérant une influence locale. Le passage d'engins et/ou des travaux ayant eu lieu dans ces directions lors de la campagne peuvent expliquer les concentrations plus élevées dans ces directions.

L'évolution des concentrations de NO₂ au sein de la journée, lorsque les vents proviennent de la direction de la future chaufferie (40°N - 50°N) est présentée ci-dessous :

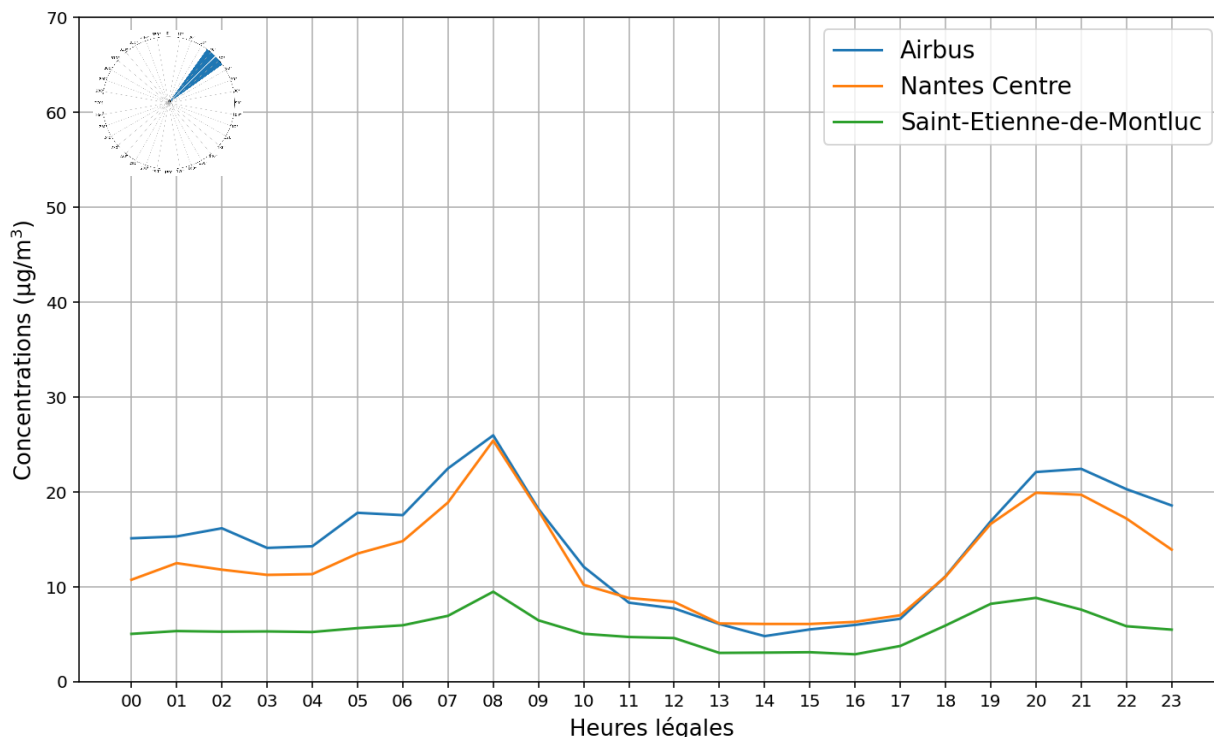


Figure 19 : profil journalier des concentrations en NO₂ par vents provenant de la direction de la future chaufferie

Ces résultats montrent que :

- Deux élévations des concentrations sont retrouvées en journée : une première le matin autour de 8h, et une seconde le soir vers 20h. Ces élévations sont expliquées par la concomitance de deux phénomènes : des émissions d'oxydes d'azote plus élevées durant ces heures, en lien avec les trajets domicile-travail, et des conditions météorologiques propices à l'accumulation des polluants le matin et le soir.
- En journée, lorsque les vents proviennent de la future chaufferie, les niveaux de NO₂ relevés à Airbus sont comparables à celles relevées au cimetière de la Bouteillerie de Nantes.

Part estimée de combustion biomasse

De manière générale, les particules PM10 et PM2.5 peuvent être issues de différentes sources (combustion, remise en suspension de particules, formées par réaction chimique, embruns marins, ...). Le carbone suie est un type de particules faisant partie de la catégorie des PM2.5, et est formé par la combustion incomplète d'hydrocarbures fossiles ou de biomasse.

Afin de pouvoir distinguer la **contribution de la combustion de biomasse** de celle de la **combustion d'hydrocarbures fossiles**, au sein des particules de carbone suie, un aéthalomètre AE33 a été installé dans la remorque laboratoire.

L'évolution des concentrations moyennes journalières de carbone suie en lien avec la combustion de biomasse durant la campagne est présentée dans la suite :

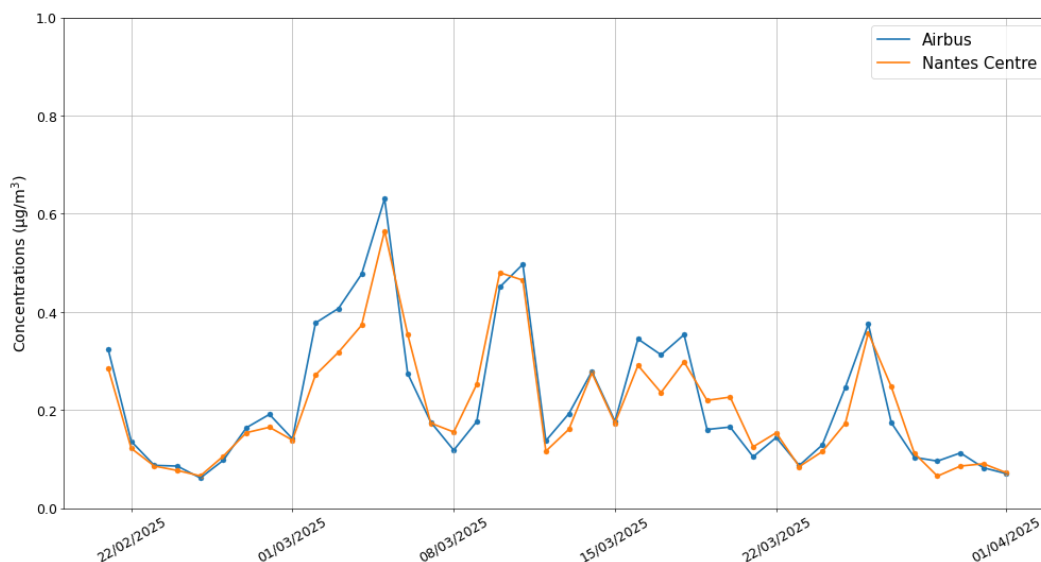


Figure 20 : évolution des concentrations moyennes journalières de carbone suie liée à la combustion biomasse

Ces résultats montrent :

- Une bonne corrélation entre les niveaux relevés à Bouteillerie et ceux relevés sur le site d'Airbus.
- Des concentrations en carbone suie liées à la combustion de biomasse de même ordre entre les deux sites.

La figure ci-dessous présente le profil journalier de la part estimée de la contribution de la biomasse au sein des particules de carbone suie sur les deux sites de mesure :

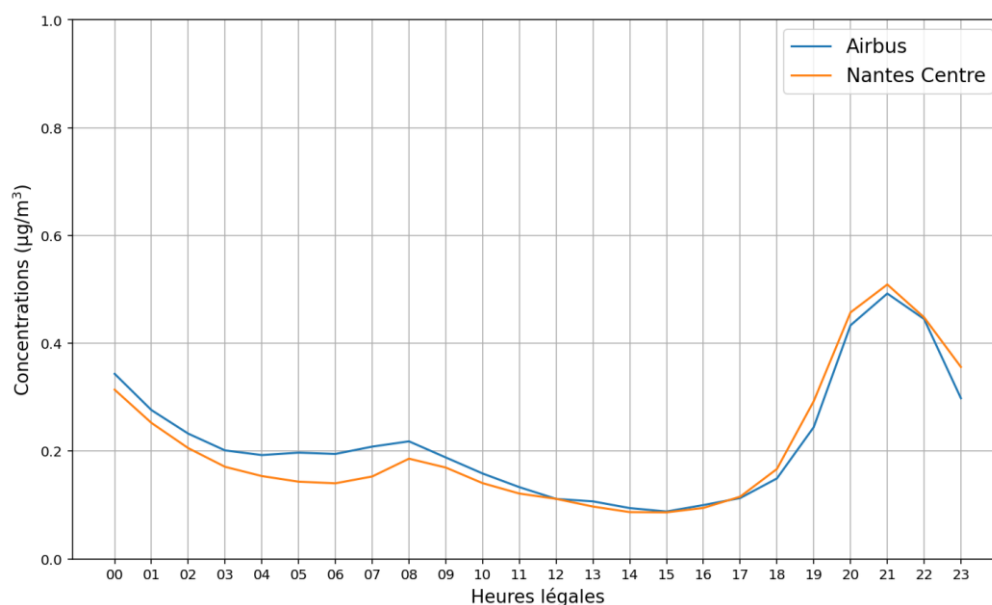


Figure 21 : profil journalier de la fraction de carbone suie liée à la combustion biomasse

Ces résultats montrent :

- Un profil similaire entre les 2 sites, avec des niveaux minimaux en journée, maximums le soir, et qui diminuent dans la nuit.

L'évolution des concentrations de carbone suie en lien avec la combustion de biomasse au sein de la journée, lorsque les vents proviennent de la direction de la future chaufferie biomasse (40°N - 50°N) est présentée ci-dessous :

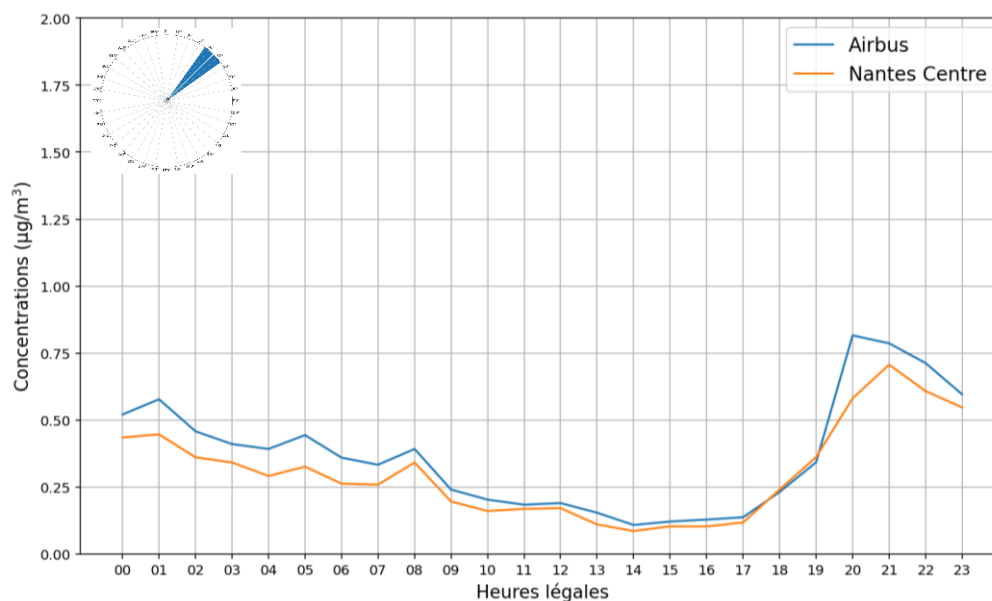


Figure 22 : profil journalier des concentrations en carbone suie liées à la combustion biomasse en provenance de la direction de la future chaufferie (40°N-50°N)

Ces résultats indiquent :

- Des concentrations en carbone suie liées à la combustion de biomasse, par vents provenant des directions 40°N et 50°N, qui augmentent en soirée, en lien avec le recours au chauffage au bois.
- Des niveaux de même ordre sur les deux sites en journée, et, à l'image de ce qui a été observé sur le dioxyde d'azote, des niveaux plus élevés le soir et la nuit, à partir de 20h.

Résultats pour les particules ultrafines PUF

Les particules ultrafines (PUF) 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. Compte tenu de leurs 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.

Ces particules ont la particularité de ne représenter que quelques pourcents de la masse totale des particules (~5 %) mais sont responsables de la majorité du nombre des particules (~90 %). De ce fait, la caractérisation de ce polluant est faite par comptage. Elles sont donc exprimées en nombre de particules par centimètres cube ($\#/cm^3$). Le matériel de mesure déployé lors de la campagne permet par ailleurs de distinguer la taille des particules lors du comptage, sur 124 canaux allant de 5 nm à 430 nm.

S'il n'y a pas, à ce jour, de réglementation à leur sujet, l'OMS considère néanmoins qu'une moyenne journalière de plus de 10 000 $\#/cm^3$, et qu'une moyenne horaire de plus de 20 000 $\#/cm^3$ sont des valeurs considérées comme étant élevées.

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot la répartition statistique des mesures sur le site d'Airbus au cours de la campagne.

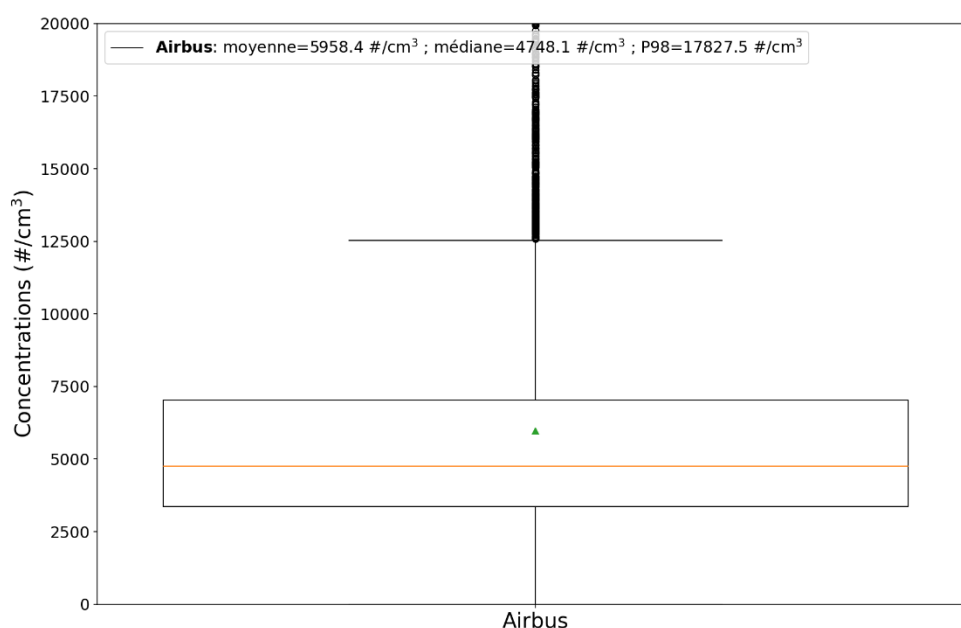


Figure 23 : boxplot des concentrations en particules ultrafines

Ces résultats montrent :

- Une moyenne générale des concentrations d'environ 6 000 $\#/cm^3$.

L'évolution des concentrations moyennes horaires de particules ultrafines est présentée dans la suite :

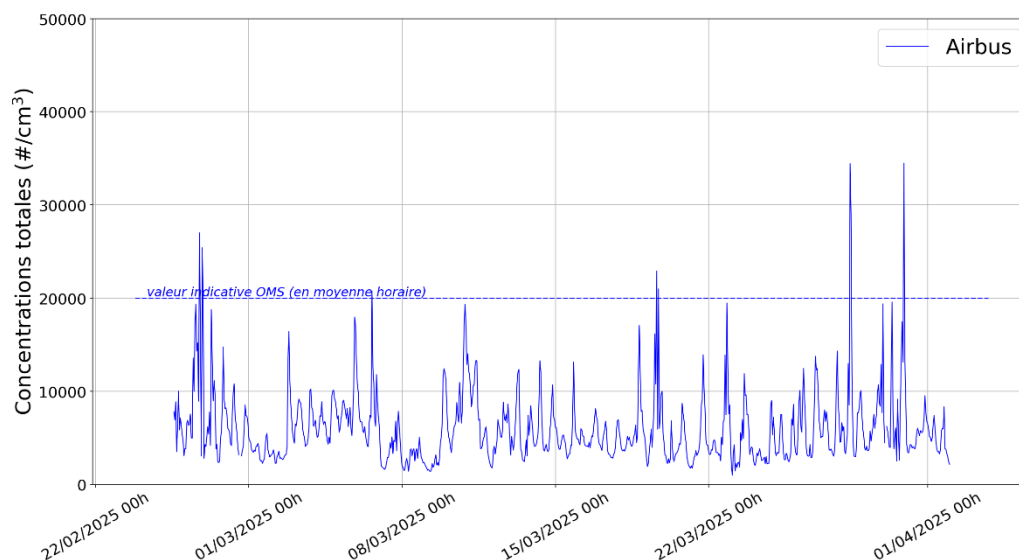


Figure 24 : évolution des concentrations horaires en particules ultrafines

Ces résultats montrent :

- Huit dépassements des 20 000 $\#/cm^3$ sur l'ensemble de la campagne de mesure, d'une moyenne de 26 900 $\#/cm^3$, avec un maximum horaire mesuré à 34 500 $\#/cm^3$ le 30/03/2025 à 22h. Ces huit dépassements ont représenté environ 0,94 % du temps de la campagne de mesure.

La seconde valeur indicative de l'OMS (10 000 $\#/cm^3$ en moyenne journalière) est présentée dans la figure suivante :

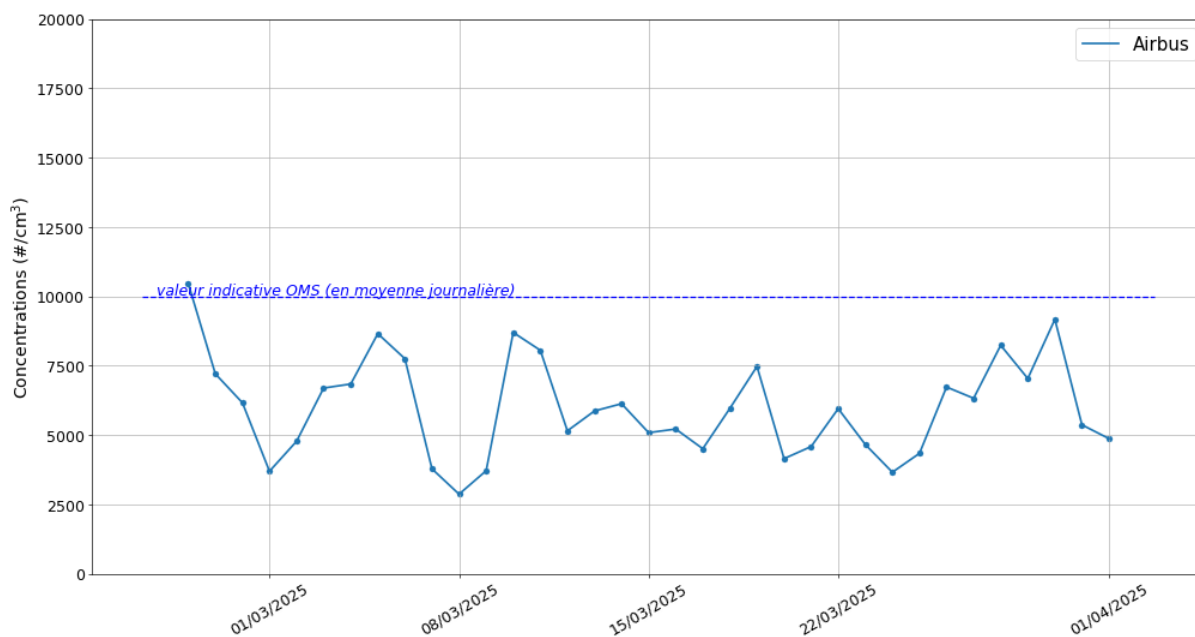


Figure 25 : évolution des concentrations journalières en particules ultrafines

Ces résultats montrent :

- Un unique dépassement des 10 000 $\#/cm^3$ en moyenne journalière sur l'ensemble de la campagne de mesure, enregistré le 26/02/2025. La moyenne des concentrations était de 10 500 $\#/cm^3$ durant cette journée.

Afin de caractériser la provenance des élévations de particules ultrafines, les roses du nombre d'élévations de plus de 20 000 $\#/cm^3$ par mesure (5 minutes), ainsi que la rose de pollution moyenne sont présentées dans la suite :

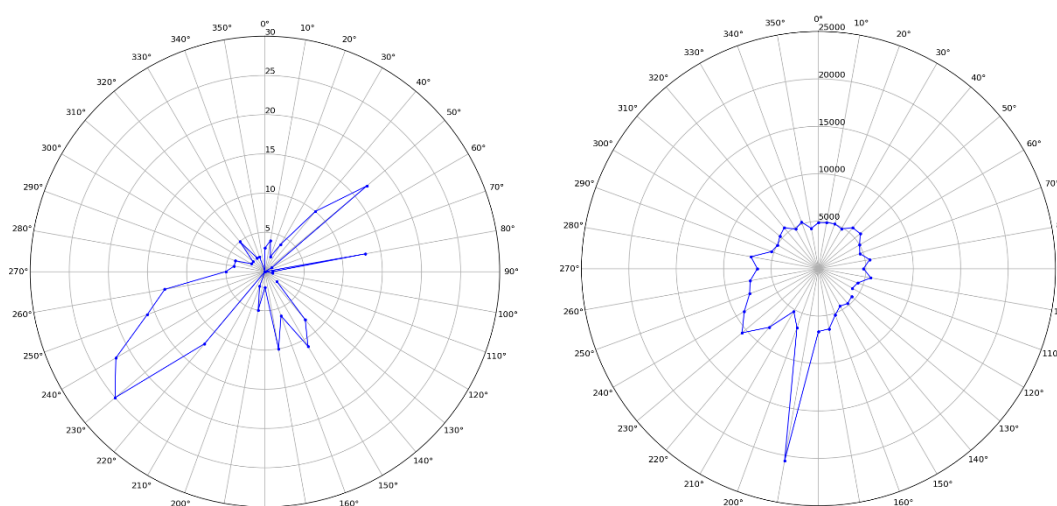


Figure 26 : rose du nombre de mesure de concentrations de plus de 20 000 $\#/cm^3$ (à gauche) et rose de pollution moyenne (à droite)

Ces résultats indiquent :

- Un nombre d'élévations de concentrations plus élevé par vents de sud-ouest, malgré la faible fréquence des vents dans ces directions. Ces élévations ont résulté en des moyennes des concentrations par vents de sud-ouest plus élevées, atteignant les 10 000 $\#/cm^3$ par vents de 230°N contre environ 5 000 $\#/cm^3$ dans les autres directions non-influencées.
- Dans la direction 190°N, des concentrations moyennes de l'ordre de 20 000 $\#/cm^3$ soit environ 4 fois plus élevées que dans les directions non influencées. Pour autant, il n'est pas relevé un nombre important d'élévations de concentrations dans cette direction. Ces concentrations s'expliquent par une influence ponctuelle de 437 000 $\#/cm^3$ et 518 000 $\#/cm^3$ le 26/02/2025 à 9h05 et 9h10 (les distributions granulométriques de ces deux élévations ponctuelles sont présentées en *annexe 3 : influence par vents de 190°N*).

Afin de caractériser les mesures réalisées dans les secteurs 220-260°N, la distribution granulométrique moyenne dans ces directions est tracée dans la suite. A titre de comparaisons, celle par secteurs de 40-50°N est également tracée :

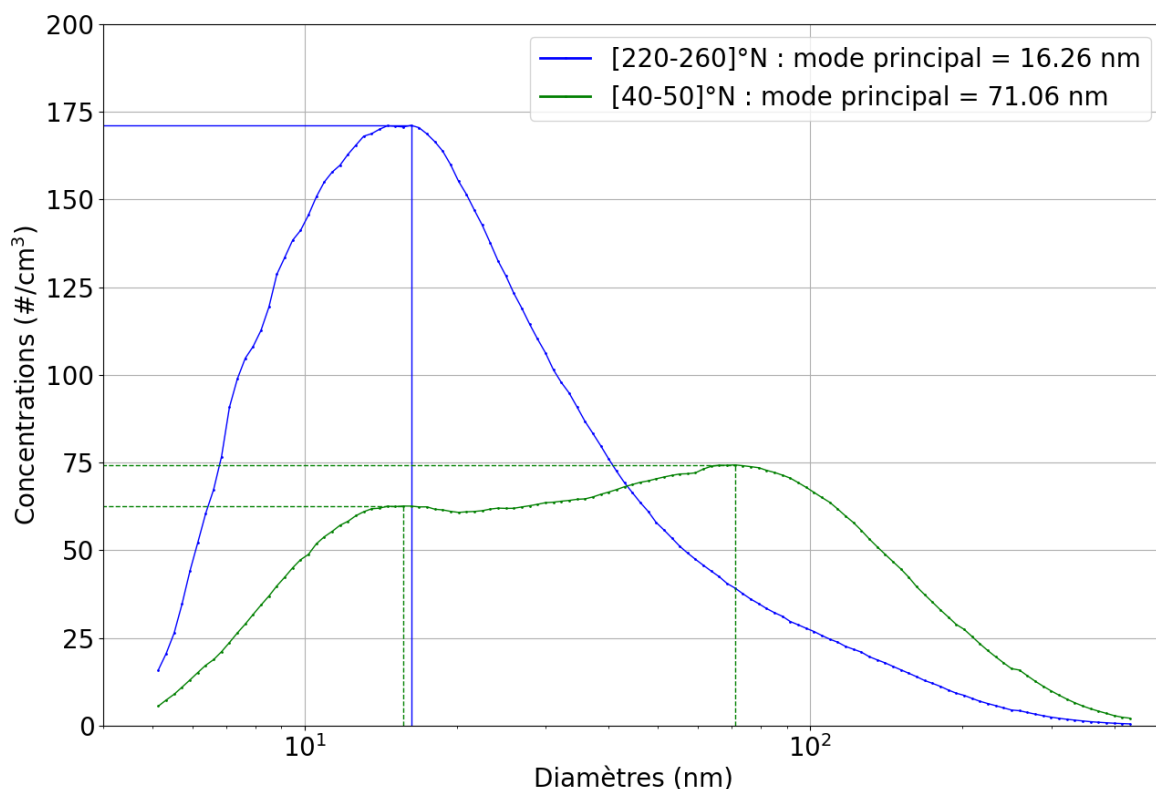


Figure 27 : distributions granulométriques moyennes des mesures réalisées par vents de 220°N à 260°N (en bleu) et par vents de 40°N et 50°N (en vert)

La distribution granulométrique indique un mode à 16 nm dans les secteurs 220°N à 260°N. Celle tracée à partir des mesures par vents de 40°N et 50°N fait apparaître une distribution bimodale, avec un mode principal autour des 70 nm, suggérant une influence du chauffage au bois.

L'influence mesurée par vents de 220°N à 260°N suggère une influence du trafic aérien, compte-tenu du mode de la distribution granulométrique centré autour de 16 nm et de la présence de la piste de l'aéroport dans ces directions⁴.



Figure 28 : directions des vents pour lesquels des concentrations plus élevées en particules ultrafines ont été relevées

La présence de ces élévations uniquement entre 7h et minuit, également visible le dimanche, conforte cette hypothèse. En effet, un couvre-feu existe à l'aéroport de Nantes-Atlantique qui autorise uniquement les vols entre 6h et minuit.

On remarque par ailleurs la présence de l'atelier de peintures ainsi que la cheminée d'une chaufferie du bâtiment d'à côté (entourés en jaune) dans les directions 230°N à 240°N, directions les plus influencées. La présence de ces deux potentiels émetteurs pourrait éventuellement également influencer les concentrations dans ces directions. Les mesures prévues début 2026, après mise en route de la future chaufferie biomasse permettront de consolider ces observations.

⁴ [Evaluation des concentrations en particules ultrafines dans les environs de l'aéroport de Nantes-Atlantique : rapport final, juin 2024](#)

Conclusions et perspectives

Dans son objectif de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre sur son site de Bouguenais, Airbus Atlantic a entamé la construction d'une nouvelle chaufferie biomasse en remplacement de chaudières gaz. Cette chaufferie biomasse, composée de deux chaudières de 2 MW et 6 MW, permettra de répondre aux besoins de chaleur du site (process industriels, chauffage des locaux et eau chaude sanitaire).

Airbus Atlantic a sollicité Air Pays de la Loire afin **de réaliser un état des lieux de la qualité de l'air, avant la mise en fonctionnement de la chaufferie biomasse**. Une **campagne de mesure** a été déployée du 20 février au 1^{er} avril 2025 au niveau de la zone de retombées maximales identifiée par l'étude de **modélisation**, pour y mesurer les concentrations de particules PM10 et PM2.5, de dioxyde d'azote NO₂, de particules ultrafines et la part estimée de carbone suie issue de combustion biomasse. Une seconde campagne sera menée une fois en fonctionnement, afin d'évaluer l'influence de la future chaufferie sur la qualité de l'air.

Les résultats montrent :

- Des niveaux en PM10 et PM2.5 de même ordre sur le site d'Airbus qu'en milieu périurbain Saint-Etienne-de-Montluc, et plus faibles qu'en milieu urbain au cimetière de la Bouteillerie de Nantes.
- Des niveaux de NO₂ plus élevés qu'en milieu périurbain à Saint-Etienne-de-Montluc et de même ordre qu'en milieu urbain à la Bouteillerie, en lien avec une exposition au trafic routier comparable entre les deux sites.
- Aucune différence notable n'est relevée entre les niveaux à Airbus et à Bouteillerie lorsque les vents proviennent de la direction de la future chaufferie biomasse (40-50°N).
- Une influence sur les concentrations en particules ultrafines a été observée par vents de sud-ouest. Le diamètre des particules mesurées ainsi que la présence d'élévations des concentrations le dimanche suggèrent une influence du trafic aérien à proximité. La présence de l'atelier de peintures, ainsi que d'une chaudière gaz dans ces directions pourrait également influencer les concentrations en particules ultrafines. Les mesures prévues début 2026, après mise en route de la future chaufferie biomasse permettront de consolider ces observations.

Les niveaux enregistrés vis-à-vis de la réglementation en vigueur sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Valeur réglementaire	PM10	PM2,5	NO₂
<i>Objectif de qualité (an)</i>	✓	✓	✓
<i>Valeur limite (an)</i>	✓	✓	✓
<i>Seuil d'information (jour/heure)</i>	✓	-	✓
<i>Valeur guide OMS (an)</i>	✓	X	X
<i>Valeur guide OMS (jour)</i>	X	X (8 jours*)	X
<i>Valeur guide OMS (heure)</i>	-	-	✓

✓ : respect constaté de la valeur de référence ; ✓ : respect probable de la valeur de référence ; X : possible dépassement de la valeur de référence ; X : dépassement constaté de la valeur de référence

*Le dépassement de la valeur guide journalière de l'OMS pour les PM2.5 s'inscrit dans un épisode régional en lien avec l'import de masses d'air chargée en particules, conjugué à des conditions météorologiques propices à l'accumulation des polluants (vents et températures faibles) ainsi qu'au recours au chauffage individuel.

Annexes

- Annexe 1 : import d'une masse d'air chargée en particules
- Annexe 2 : roses de pollution en NO et NO₂ sur site d'Airbus
- Annexe 3 : influence par vents de 190°N
- Annexe 4 : Air Pays de la Loire
- Annexe 5 : techniques d'évaluation
- Annexe 6 : types des sites de mesure
- Annexe 7 : polluants
- Annexe 8 : seuils de qualité de l'air 2025

Annexe 1 : import de masses d'air chargées en particules

La figure 29 présente les cartes de modélisation des concentrations en PM2.5 lors des événements enregistrés les 4, 17 et 25 mars 2025. Ces modélisations soulignent le caractère régional de ces événements.

La figure 30 présente les rétro-trajectoires des masses d'air lors des événements des 4, 17 et 25 mars 2025, et permet d'en déduire la provenance de celles-ci (Allemagne/Benelux).

L'import de masses d'air chargées en particules conjugué à des conditions météorologiques propices à l'accumulation des polluants (vents et températures faibles) ainsi qu'au recours au chauffage individuel expliquent ces événements des 4, 17 et 25 mars 2025.

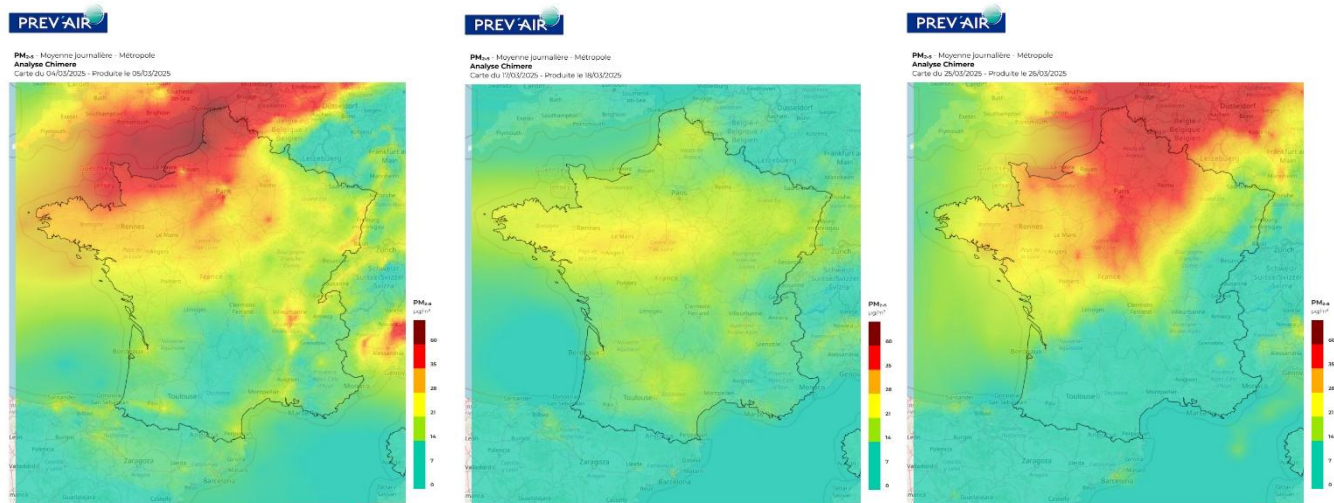


Figure 29 : cartes de modélisation réanalysées des concentrations moyennes journalières en PM2.5 en France les 4, 17 et 25 mars 2025 (source : PREVAIR)

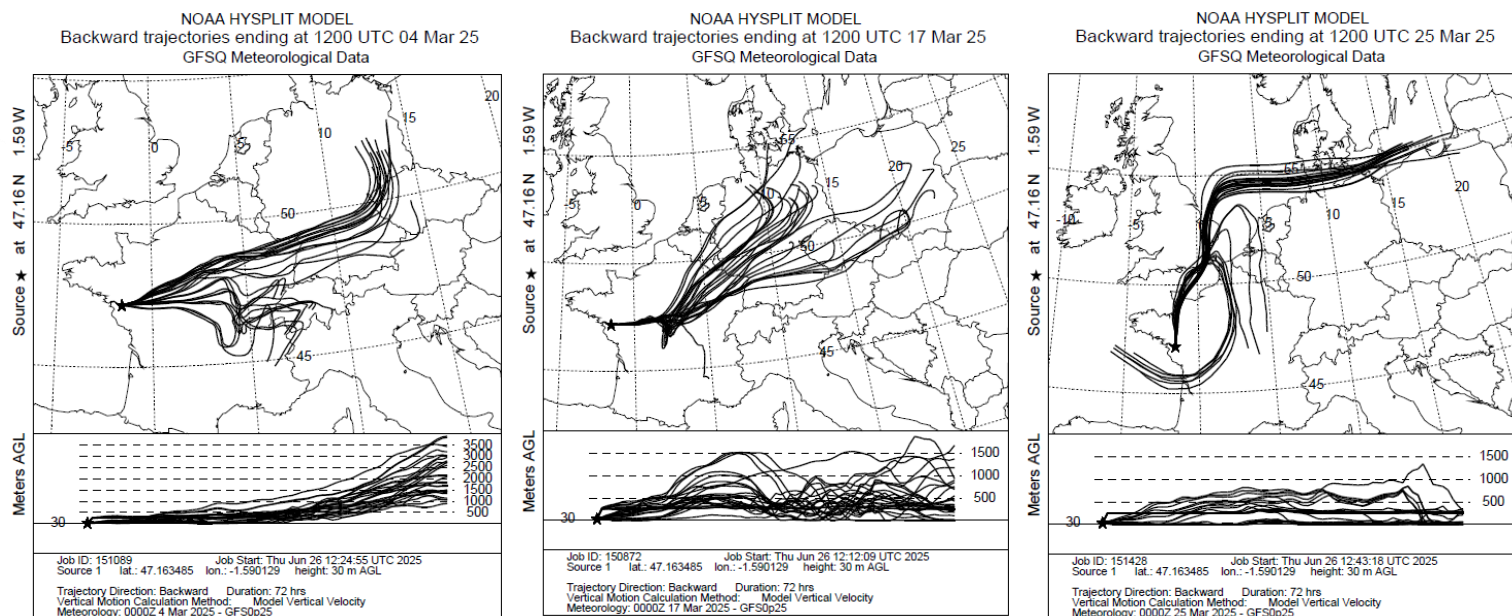


Figure 30 : provenance des masses d'air les 4, 17 et 25 mars 2025 : rétro-trajectoires calculées sur 72h (source : Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique NOAA)

Annexe 2 : roses de pollution en NO et NO₂ sur site d'Airbus

La figure suivante présente les roses de pollution en NO et NO₂. Elles indiquent des concentrations plus élevées en provenance d'une zone en travaux à proximité de la station durant la campagne de mesure.

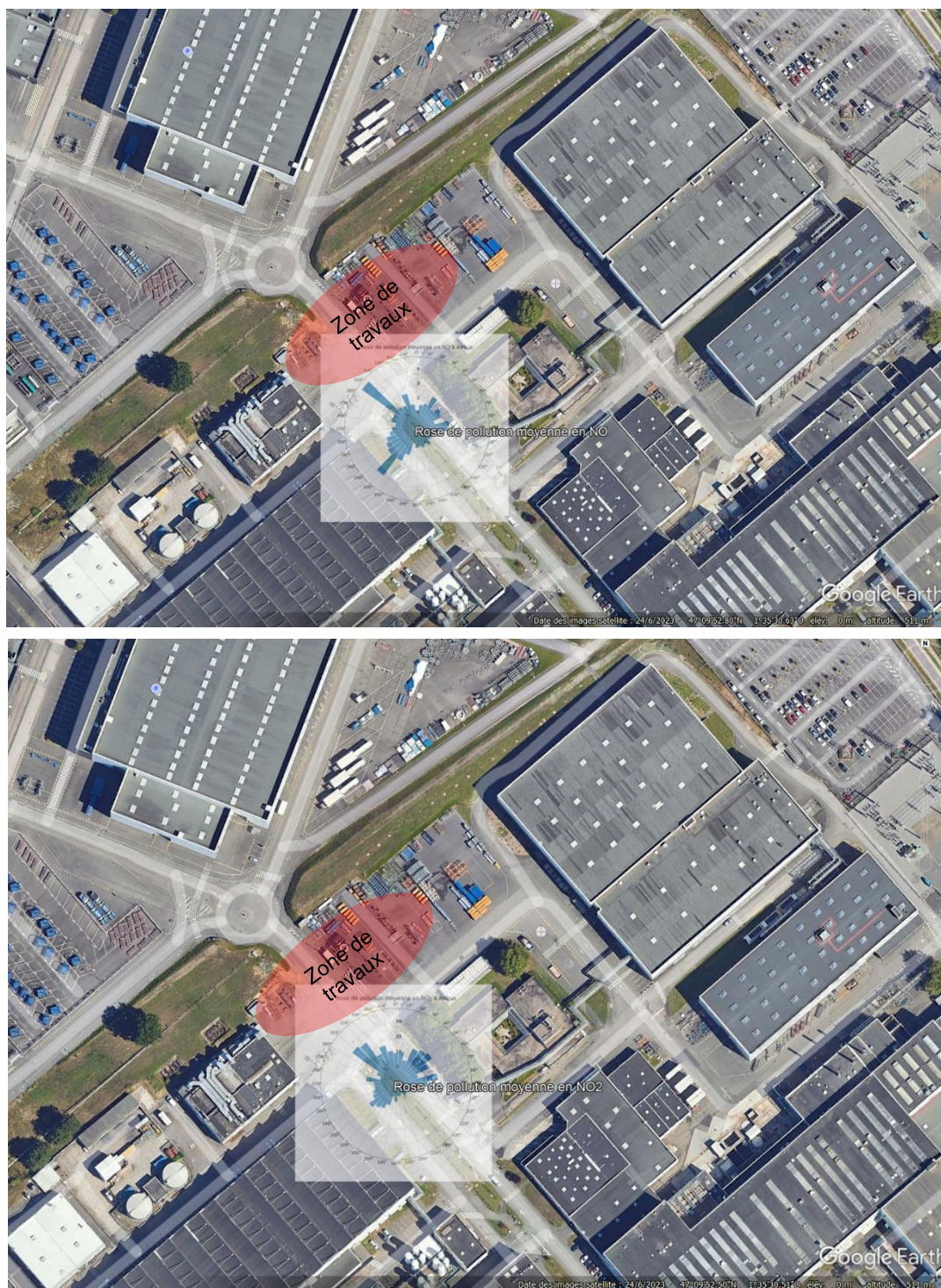


Figure 31 : roses de pollution moyennes en NO (en haut) et NO₂ (en bas) lors de la campagne de mesure.

Annexe 3 : influence par vents de 190°N

Les figures suivantes présentent les distributions granulométriques des deux élévations ponctuelles enregistrés le 26/02/2025 à 9h05 et 9h10 dans la direction 190°N. Des modes sont relevés à 30 nm et 15 et 25 nm.

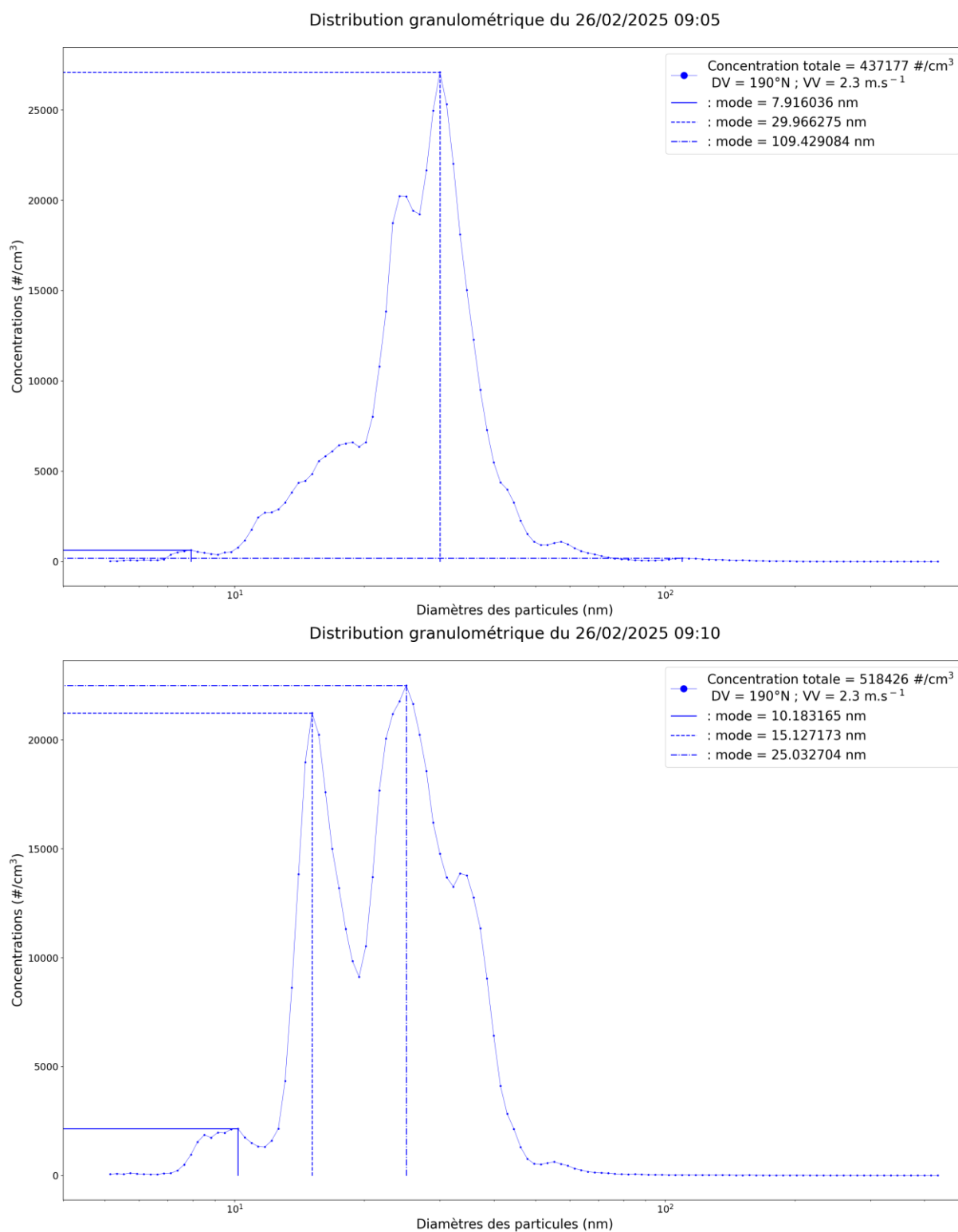


Figure 32 : distributions granulométriques des deux élévations des concentrations survenues le 26/02/2025 à 9h05 (en haut) et 9h10 (en bas)

Annexe 4 : Air Pays de la Loire

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé par le chargé 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.

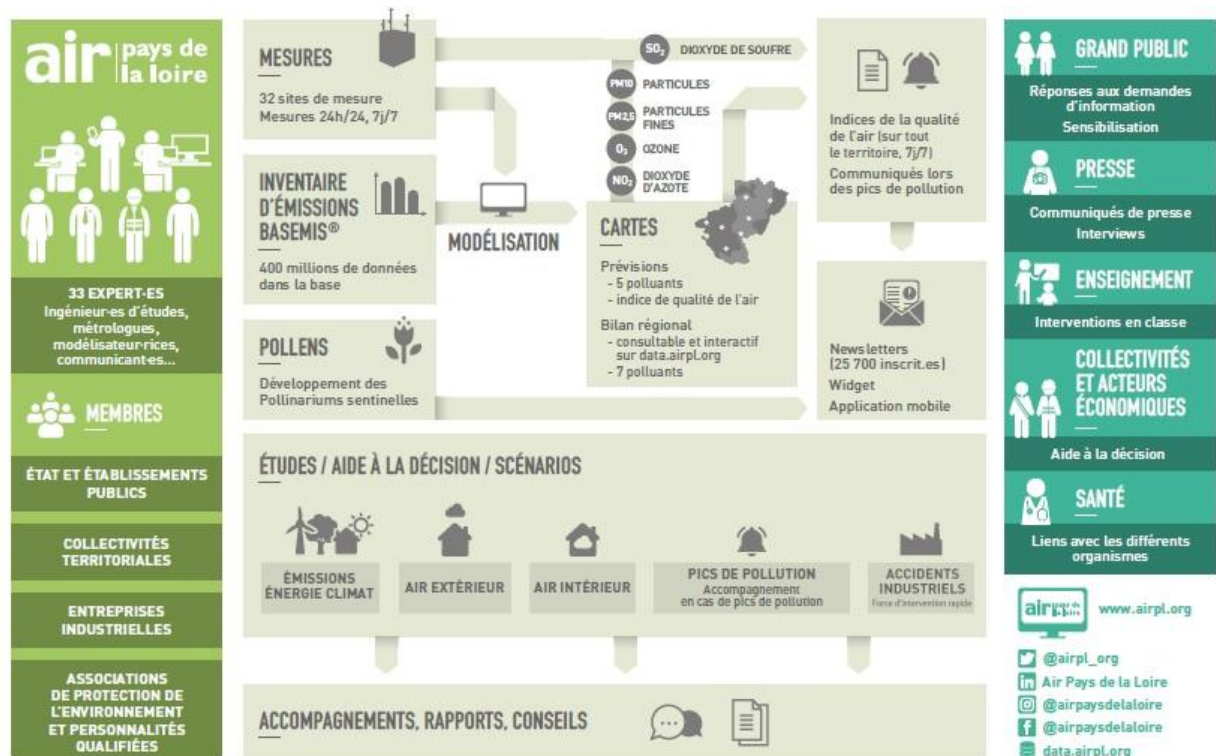
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- 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 Bluesky (@airpl.bsky.social) 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 5 : techniques d'évaluation

Mesures des concentrations atmosphériques en dioxyde d'azote

Méthode - normes

Le dioxyde d'azote est détecté par la technique de chimiluminescence - norme **NF EN 14211**.

Pas de temps

Tous les quarts d'heure.

Étalonnage

Ces mesures sont étalonnées par des étalons de transfert raccordés au laboratoire d'étalonnage airpl, lab certifié COFRAC 17025 dans le domaine "chimie et matériaux de référence – mélanges de gaz".

Mesures des concentrations atmosphériques en particules PM10 et PM2.5

Méthode – normes

Les mesures de particules fines sont effectuées à l'aide du système TEOM-FDMS, selon la norme **NF EN 16450**. Cette technique est équivalente à la méthode gravimétrique de référence de la norme **NF EN 12341**. Elle prend en compte la fraction volatile de l'aérosol et est utilisée depuis le 1^{er} janvier 2007 par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air pour le suivi réglementaire des teneurs en particules fines en milieu urbain. Elle s'est substituée aux mesures par TEOM seul qui ne prenaient pas en compte les aérosols semi volatils.

Pas de temps

Tous les quarts d'heure.

Mesures du carbone suie et de sa part liée à la combustion de biomasse et d'hydrocarbures fossiles

Méthode – normes

La mesure de carbone suie est effectuée à l'aide d'un aéthalomètre AE33, qui consiste à mesurer la lumière absorbée par les particules prélevées sur une bande filtrante. La différence d'absorption de la lumière entre une bande exposée aux particules et une bande non exposée détermine le coefficient d'absorption de la lumière par ces particules. Sur la longueur d'onde à 830 nm, ce coefficient d'absorption permet d'estimer spécifiquement la contribution du carbone suie issue des combustions.

Pas de temps

Tous les quarts d'heure.

Annexe 6 : types des sites de mesure

Les sites de mesure sont localisés selon des objectifs précis de surveillance de la qualité de l'air, définis au plan national.



sites urbains

Les sites urbains sont localisés dans une zone densément peuplée en milieu urbain et de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution ; ils caractérisent la pollution moyenne de cette zone.



sites périurbains

Les sites périurbains sont localisés dans une zone peuplée en milieu périurbain, de façon à ne pas être soumis à une source déterminée de pollution et à caractériser la pollution moyenne de cette zone.

Annexe 7 : polluants

Les oxydes d'azote (NOx)

Les NOx comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (53 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

Le monoxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Le dioxyde d'azote pénètre dans les voies respiratoires profondes. Il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations rencontrées habituellement, le dioxyde d'azote provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.

Les particules

Les particules constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverse et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM10), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10 µm, elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. Les particules fines, appelées PM2.5 (diamètre inférieur à 2.5 µm) pénètrent plus profondément dans les poumons. Celles-ci peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines et parcourir de longues distances.

La profondeur de pénétration des particules dans l'arbre pulmonaire est directement liée à leurs dimensions, les plus grosses étant arrêtées puis éliminées au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures. Le rôle des particules en suspension a été montré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardiovasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles (enfants, bronchitiques chroniques, asthmatiques...).

Annexe 8 : seuils de qualité de l'air 2025

SEUILS DE DÉCLENCHEMENT DES ÉPISODES DE POLLUTION

Décret 2010-1250 du 21/10/2010 – arrêté ministériel du 07/04/2016

TYPE DE SEUIL (µg/m³)	DURÉE CONSIDÉRÉE	POLLUANTS			
		OZONE (O ₃)	DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	PARTICULES FINES (PM10)	DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)
Seuil de recommandation et d'information	Moyenne horaire	180	200	-	300
	Moyenne 24-horaire	-	-	50	-
Seuil d'alerte	Moyenne horaire	240 ⁽¹⁾ 1 ^{er} seuil : 240 ⁽²⁾ 2 ^{ème} seuil : 300 ⁽²⁾ 3 ^{ème} seuil : 360 ou à partir du 2 ^e jour de prévision de dépassement du seuil de recommandation et d'information (persistance)	400 ⁽²⁾ 200 ⁽²⁾	-	500 ⁽²⁾
	Moyenne 24-horaire	-	-	80 ou à partir du 2 ^e jour de dépassement du seuil de recommandation et d'information (persistance)	-

(1) pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire.
(2) dépassé pendant 3h consécutives.

(3) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

Seuil de recommandation et d'information : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée.

Seuil d'alerte : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

AUTRES SEUILS RÉGLEMENTAIRES

Décret 2010-1250 du 21/10/2010

TYPE DE SEUIL (µg/m³)	DURÉE CONSIDÉRÉE	POLLUANTS												
		OZONE (O ₃)	DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	OXYDES D'AZOTE (NO _x)	PARTICULES FINES (PM10)	PARTICULES FINES (PM2.5)	BENZÈNE	MONOXYDE DE CARBONE (CO)	DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)	PLOMB	ARSENIC	CADMIUM	NICKEL	BENZO(a) PYRÈNE
Valeur limite	Moyenne annuelle	-	40	30 ⁽¹⁾	40	25	5	-	20 ⁽¹⁾	0,5	-	-	-	-
	Moyenne hivernale	-	-	-	-	-	-	-	20 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-
	Moyenne journalière	-	-	-	50 ⁽²⁾	-	-	-	125 ⁽³⁾	-	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	200 ⁽⁴⁾	-	-	-	-	-	350 ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-
Objectif de qualité	Moyenne annuelle	-	40	-	30	10	2	-	50	0,25	-	-	-	-
	Moyenne journalière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽⁶⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AOT 40	6 000 ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valeur cible	AOT 40	18 000 ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne annuelle	-	-	-	-	20	-	-	-	-	0,006	0,005	0,02	0,001
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽⁹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) pour la protection de la végétation

(2) à ne pas dépasser plus de 35 par an (percentile 95,4 annuel)

(3) à ne pas dépasser plus de 3 par an (percentile 99,2 annuel)

(4) à ne pas dépasser plus de 18 par an (percentile 99,79 annuel)

(5) à ne pas dépasser plus de 24 par an (percentile 99,73 annuel)

(6) en moyenne sur 5 ans, calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

(7) pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, à ne pas dépasser plus de 25 par an en moyenne sur 3 ans

(8) calculé à partir des valeurs enregistrées sur 1 heure de mai à juillet

(9) pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, calculé sur une année civile.

Valeur limite : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement.

Objectif de qualité : niveau de pollution atmosphérique fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution pour la santé humaine et/ou l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

Valeur cible : niveau de pollution fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

	PARTICULES FINES PM2,5		PARTICULES PM10		OZONE O ₃		DIOXYDE D'AZOTE NO ₂		DIOXYDE DE SOUFRE SO ₂		MONOXYDE DE CARBONE CO
	Court terme (moy. sur 24h)	Long terme (moy. annuelle)	Court terme (moy. sur 24h)	Long terme (moy. annuelle)	Court terme	Long terme	Court terme	Long terme (moy. annuelle)	Court terme	Long terme (moy. annuelle)	
Valeurs OMS	15 µg/m³ ^a	5 µg/m³	45 µg/m³ ^a	15 µg/m³	100 µg/m³ ^a (moy. sur 8h) 60 µg/m³ ^b (saison de pointe)	-	200 µg/m³ (moy. horaire) 25 µg/m³ ^a (moy. sur 24h)	10 µg/m³	500 µg/m³ (moy. sur 10 min) 40 µg/m³ ^a (moy. sur 24h)	-	100 mg/m³ (moy. sur 15 min) 35 mg/m³ (moy. horaire) 10 mg/m³ (moy. sur 8h) 4 mg/m³ ^a (moy. sur 24h)



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