



CHAUFFERIE BIOMASSE

Évaluation de l'influence de la chaufferie
Monplaisir à Angers sur les concentrations
en polluants dans l'air

Hiver 2023



Sommaire

Synthèse	2
Introduction	3
Modélisation des retombées	4
Méthodologie	4
Résultats.....	5
Campagne de mesure	8
Site de mesure.....	8
Conditions météorologiques	9
Dioxyde d'azote NO ₂	10
Particules PM10.....	13
Particules fines PM2.5.....	16
Le dioxyde de soufre SO ₂	19
Le carbone suie BC.....	21
Conclusion	22
Annexes	23

contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Eneour Le Guiban, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Sonia Cécile et l'équipe de techniciens métrologie, Validation : François Ducroz - Céline Puente-Lelièvre.

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

Suite à l'implantation d'une chaufferie biomasse dans le quartier Monplaisir à Angers, Anjou Loire Territoire (Alter) a sollicité Air Pays de la Loire afin de déterminer l'influence de la nouvelle installation sur la qualité de l'air respirée par les riverains du quartier Monplaisir, avant et après mise en service. Pour cela, Air Pays de la Loire a réalisé une évaluation selon deux approches complémentaires, dont les objectifs sont les suivants :

- **Une étude de modélisation** afin d'identifier les zones de retombées maximales des émissions de la chaufferie, permettant ainsi de déterminer l'implantation optimale des instruments de mesure. Elle permet également d'évaluer la contribution de la chaufferie par rapport à celle de l'autoroute A11 ;
- **Une campagne de mesure** en continu sur 4 mois, avant et après mise en service, permettant d'évaluer l'impact de l'installation sur la qualité de l'air, et de mettre les valeurs mesurées au regard des réglementations en vigueur dans l'air ambiant.

Étude de modélisation des retombées maximales :

Trois scénarios ont été modélisés :

- un premier scénario évaluant l'impact des émissions de la chaufferie uniquement ;
- un second scénario évaluant l'impact de l'autoroute A11 ;
- un troisième scénario évaluant l'impact cumulé de la chaufferie et de l'autoroute A11.

Au niveau des habitations les plus exposées aux émissions de la chaufferie, les résultats ont mis en évidence :

- Des niveaux négligeables en particules PM10 et PM2.5 (de l'ordre de 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et en NO_2 (0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Des niveaux inférieurs à 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le SO_2 .

En moyenne annuelle, l'impact de l'autoroute est plus élevé pour le NO_2 (de l'ordre de 5 à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pour les PM10 et pour les PM2.5 (de l'ordre de 2 à 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

L'étude de modélisation a conclu à un impact maximal de la chaufferie au nord-est de celle-ci. La zone n'étant pas habitée, l'implantation de la station de mesure pour la campagne a été choisie au-delà de l'autoroute, à approximativement 300 mètres de la chaufferie.

Campagne de mesure :

La campagne de mesure a été menée du 25/01/2023 au 05/06/2023, avant et après le démarrage de la chaufferie, afin d'évaluer son impact sur la qualité de l'air. Les résultats de la campagne de mesure ont montré :

- Une influence plus marquée du trafic routier sur le site de Monplaisir qu'en milieu urbain d'Angers pour le NO_2 , du fait de la présence de l'autoroute à proximité du site de mesure ;
- Des niveaux de même ordre entre le site de Monplaisir et du centre d'Angers pour les particules (différences de moyennes de 1,7 % et 4,3 % respectivement pour les PM10 et PM2.5) ;
- Des niveaux proches de la limite de détection pour le SO_2 ;
- Aucune mise en évidence de l'influence des émissions de la chaufferie Monplaisir sur les concentrations de l'ensemble des polluants mesurés (PM10, PM2.5, NO_2 , SO_2 et BC) durant la campagne.
- Un respect des seuils réglementaires pour le NO_2 , les PM2.5 et le SO_2 ;
- 3 dépassements (9, 10 et 14 février 2023) du seuil d'information pour les PM10 sur les deux sites de mesure. Ces épisodes de pollution ne sont pas spécifiques au quartier Monplaisir mais généralisés sur la partie Nord de la France.

La chaufferie ayant été en fonctionnement uniquement sur la petite chaudière biomasse, et ce, à partir de la fin avril 2023, il n'est pas garanti qu'un fonctionnement à pleine charge de celle-ci n'ait aucune incidence décelable sur la qualité de l'air. Une campagne de mesure complémentaire lors du fonctionnement nominal de la chaufferie est donc recommandée.

Introduction

La chaufferie Monplaisir, gérée par la société Anjou Loire Territoire (Alter), est en fonctionnement depuis fin avril 2023. Dans la continuité des études réalisées suite à la mise en fonctionnement de la chaufferie Belle-Beille, Alter a sollicité Air Pays de la Loire afin d'évaluer l'influence des émissions de la nouvelle chaufferie Monplaisir sur la qualité de l'air.

La chaufferie vise une production d'énergie basée sur la combustion de biomasse (plaquettes de bois bocagères et forestières) à 80 % et de gaz à hauteur de 20 %, pour l'alimentation en eau chaude de près de 2 450 logements du quartier Monplaisir à Angers. Deux chaudières au bois (1,3 MW et 4 MW) assurent les 80 % de la production et deux chaudières au gaz (4 MW et 7 MW) assurent les 20 % restants et sont disponibles en cas de besoins ponctuels ou d'indisponibilité des chaudières bois.

La production a été assurée uniquement par la petite chaudière biomasse entre la mise en route de la chaufferie et la fin des mesures. La chaufferie n'était donc pas à pleine charge durant la campagne de mesure.

La première partie du rapport présente les résultats de l'étude de modélisation préliminaire à la campagne de mesure, qui consistait à notamment identifier les zones de retombées maximales des émissions de la chaufferie, dans le but d'identifier un site d'implantation des instruments de mesure. Trois scénarios ont été modélisés :

- un premier scénario évaluant l'impact des émissions de la chaufferie uniquement ;
- un second scénario évaluant l'impact de l'autoroute A11 ;
- un troisième scénario évaluant l'impact cumulé de la chaufferie et de l'autoroute A11.

La seconde partie du rapport présente les résultats des quatre mois de campagne de mesure réalisées avant et après mise en route de la chaufferie, entre le 25/01/2023 et le 05/06/2023 sur le terrain des Restos du Cœur Angers-Doyenné, situé à environ 300 mètres de la chaufferie Monplaisir. Cette campagne a porté sur la mesure NO₂, du SO₂, des particules PM₁₀ et PM_{2.5}, ainsi que la fraction des particules attribuée à la combustion de biomasse.

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 techniques 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 en zone habitée susceptible d'être impacté par les émissions de la chaufferie, et de distinguer la contribution de la chaufferie de celle de l'autoroute A11 sur les concentrations modélisées. L'objectif étant par la suite d'y installer un laboratoire mobile pour la mise en œuvre de la campagne de mesure de quatre mois, commandée par Alter.

Les concentrations des polluants PM10, PM2.5, NO₂ et SO₂ ont été modélisées en moyenne annuelle via le logiciel ADMS. Cet outil, développé par le CERC (Cambridge Environment Research Consultants) en Grande Bretagne, est largement utilisé par les AASQA – Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air, et les bureaux d'études, afin d'identifier les zones les plus impactées.

Les conditions météorologiques utilisées dans cette étude ont été celles de la station Météo-France Angers-Beaucouzé relevées en 2019.

Les résultats de la modélisation sont représentés par des cartes de concentrations indiquant en chaque point, la concentration moyenne annuelle calculée.

Du fait de la présence de l'autoroute A11 entre la chaufferie et les zones résidentielles les plus proches de celle-ci, trois scénarios ont été modélisés :

- un premier scénario évaluant les concentrations issues des émissions spécifiques de la chaufferie ;
- un second scénario évaluant les concentrations issues des émissions spécifiques de l'autoroute A11 ;
- un troisième scénario évaluant les concentrations issues des émissions conjointes de la chaufferie et de l'autoroute A11.

Les émissions des 4 chaudières ont été modélisées comme étant quatre rejets ponctuels.

Les concentrations à l'émission des chaudières bois sont issues du fabricant de chaudières et sont résumées dans le tableau suivant :

Les concentrations en polluants sont exprimées en milligrammes par mètre cube (mg/Nm³) sur gaz sec rapportés à une teneur en oxygène dans les effluents de 6% en volume.

Poussières	mg/Nm ³	10
CO	mg/Nm ³	250
NO _x	mg/Nm ³	300
SO ₂	mg/Nm ³	200

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 92 % et 77 %. Ces rapports sont issus du guide OMINEA du CITEPA².

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

² Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, 12^e édition, février 2015

Résultats

Les concentrations modélisées sont issues uniquement des émissions de la chaufferie dans le scénario 1 et de l'autoroute A11 dans le scénario 2.

Il est à noter que les concentrations modélisées le sont sans prise en compte de la pollution de fond, ni des divers émetteurs de la zone d'étude (trafic autre que l'autoroute A11, habitations, ...). Par conséquent, les concentrations modélisées ne sont pas directement comparables avec les concentrations mesurées durant la campagne de mesure.

Scénario 1 : émissions spécifiques de la chaufferie

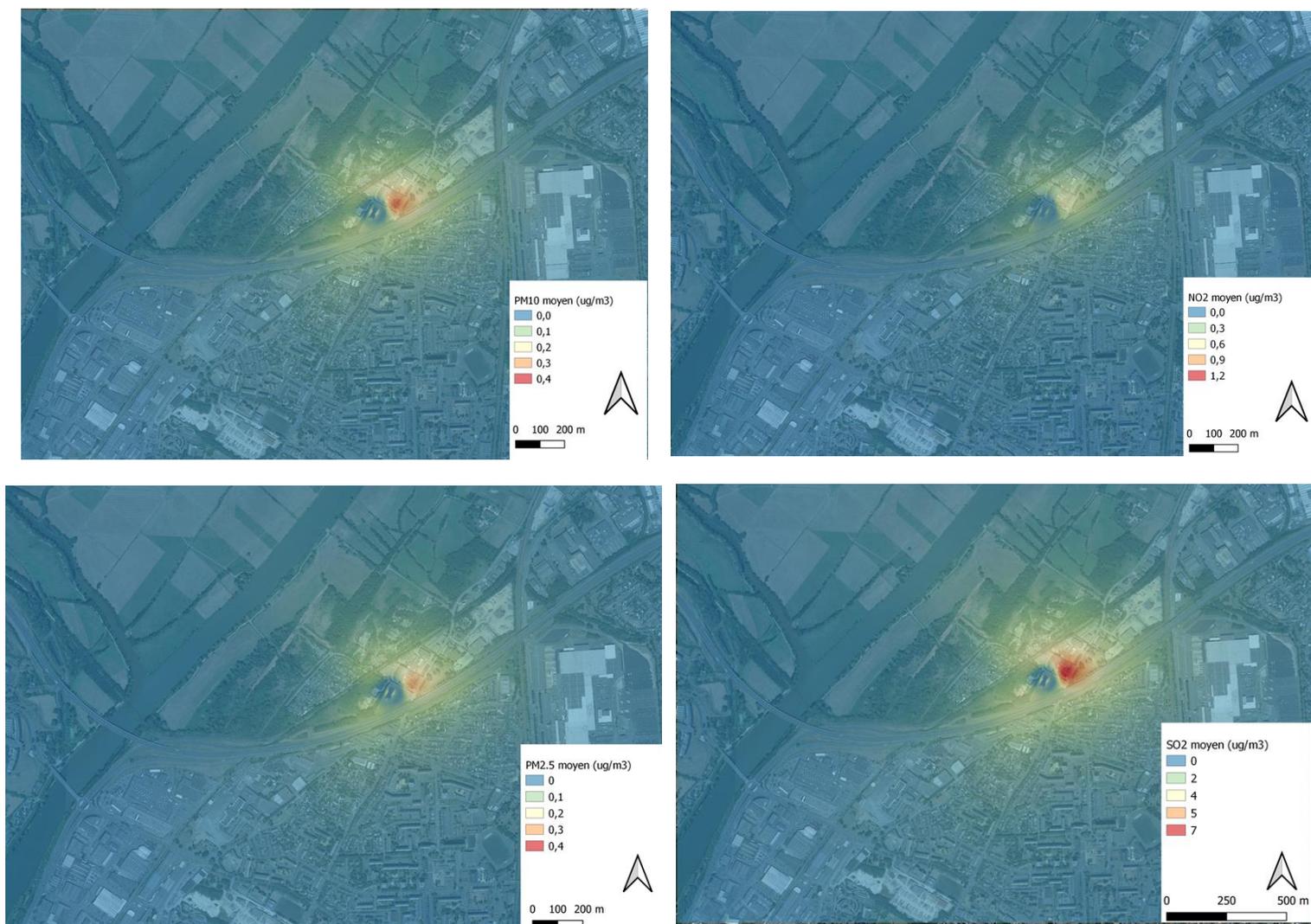


Figure 1 : concentrations en moyenne annuelle modélisées dans le scénario 1 pour les PM10, PM2.5, NO₂ et SO₂

Les concentrations modélisées en moyenne annuelle issues des émissions spécifiques de la chaufferie sont comprises entre 0 et 0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et entre 0 et 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2.5. La concentration maximale en NO₂ dans la zone la plus exposée est de 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations atteignent les 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le SO₂. **La zone la plus exposée se trouvant au nord-est de la chaufferie, hors zone habitée, celle-ci ne sera pas retenue pour la campagne de mesure.**

Les concentrations maximales de SO₂ modélisées en zone habitée (de l'autre côté de l'autoroute A11) oscillent entre 2 et 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Scénario 2 : émissions spécifiques de l'autoroute A11

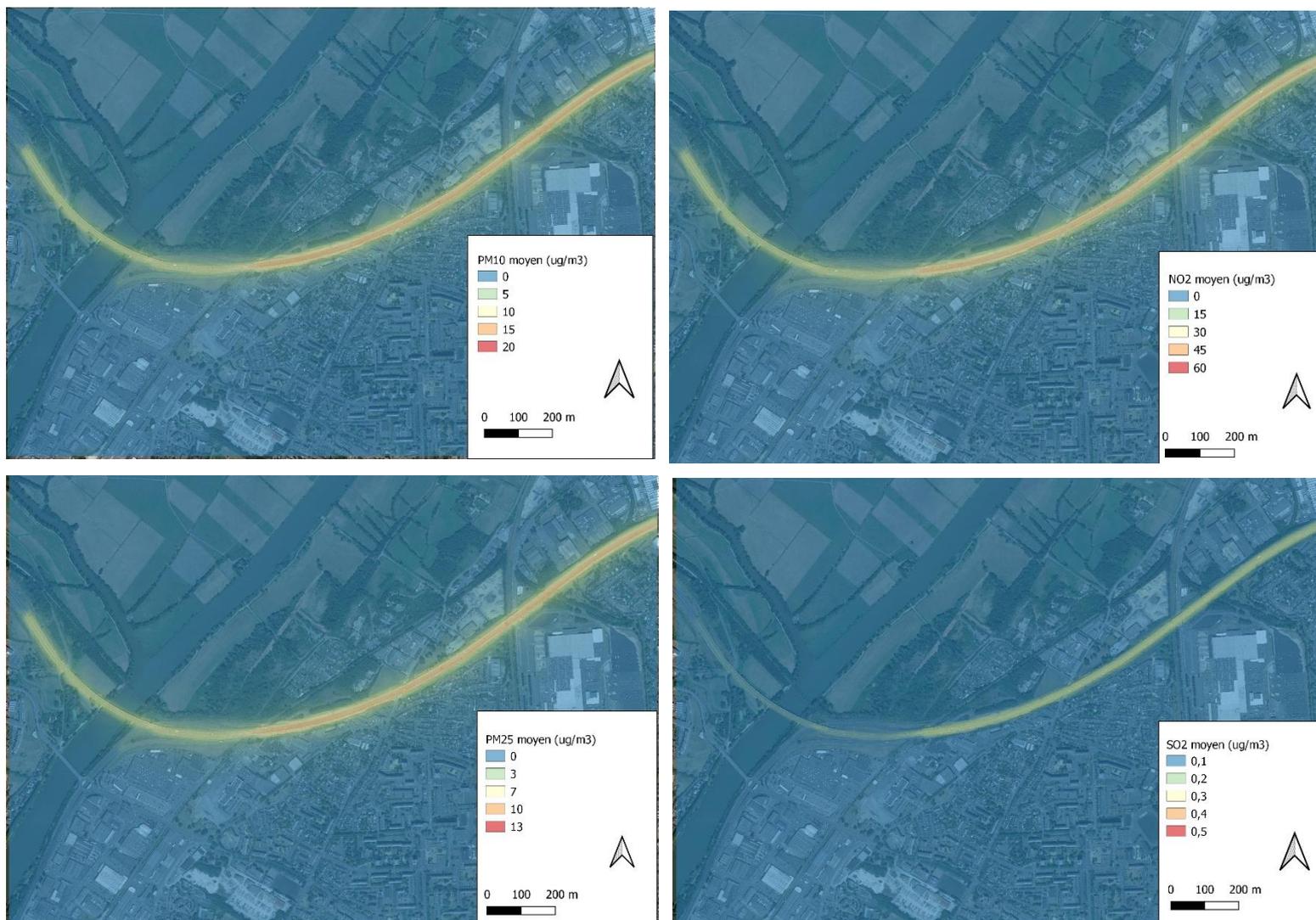


Figure 2 : cartes de concentrations en moyenne annuelle modélisées dans le scénario 2 pour les PM10, PM2.5, NO₂ et SO₂

Les concentrations modélisées en moyenne annuelle issues des émissions spécifiques de l'autoroute A11 sont maximales au centre de l'autoroute et décroissent progressivement en s'éloignant de celle-ci. Elles sont comprises entre 0 et 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur toute la zone d'étude pour le SO₂.

Concernant les PM10 et les PM2.5 les concentrations modélisées au centre de l'autoroute en moyenne annuelle atteignent respectivement 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tandis que les concentrations en NO₂ atteignent les 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'impact des émissions de l'autoroute A11 en zone habitée (au sud de l'autoroute A11) oscille entre 8 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO₂ au niveau des habitations les plus proches de l'autoroute tandis qu'elle est de 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2.5.

Scénario 3 : émissions conjointes de la chaufferie et de l'autoroute A11

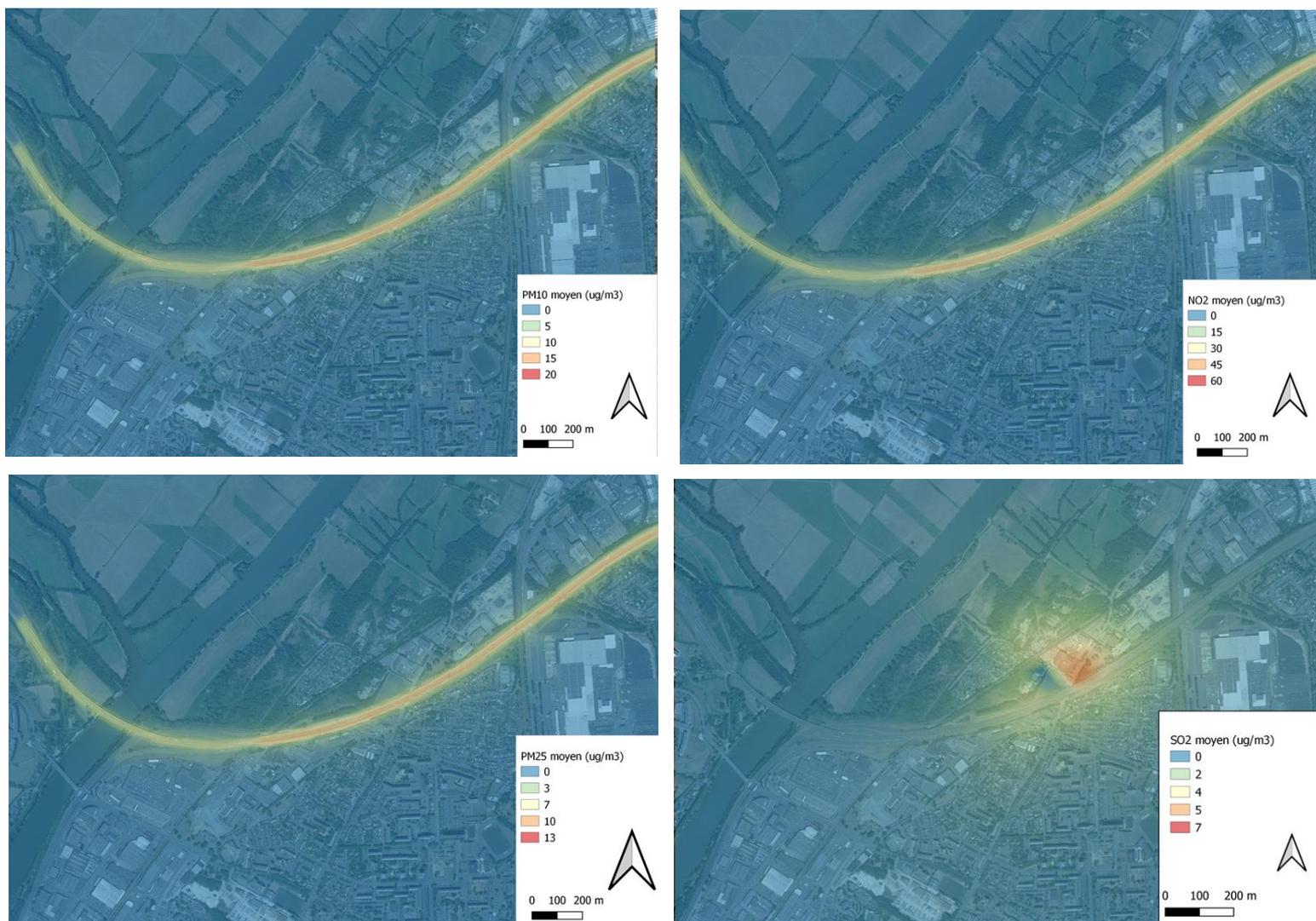


Figure 3 : cartes de concentrations en moyenne annuelle modélisées dans le scénario 3 pour les PM10, PM2.5, NO₂ et SO₂

L'impact cumulé des émissions de l'autoroute A11 et de la chaufferie est de 8 à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO₂ au niveau des habitations les plus proches de l'autoroute. Elles restent inchangées par rapport au scénario 2 (autoroute A11 uniquement) pour le NO₂, PM10 et PM2.5. Elles restent également inchangées par rapport au scénario 1 pour le SO₂.

Ainsi, la chaufferie génère une surconcentration en NO₂ de l'ordre de 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle au niveau des habitations les plus exposées. Ces dernières sont en revanche plus impactées par les émissions de l'autoroute, avec des surconcentrations de l'ordre de 8 à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Concernant les PM10 et PM2.5, les concentrations modélisées au niveau des habitations les plus proches sont faibles, de l'ordre de 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles sont également faibles pour le SO₂ (inférieures à 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; à titre d'information, l'objectif qualité se trouve à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle tandis que le seuil d'information et de recommandation est fixé à 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire).

L'autoroute possède un impact plus élevé que la chaufferie sur les concentrations modélisées que la chaufferie pour le NO₂, les PM10 et les PM2.5.

Finalement, cette étude de modélisation des retombées maximales a permis d'évaluer la zone la plus exposée aux émissions de la chaufferie. Cette zone est située entre 50 m et 100 m, au nord-est de la chaufferie. En revanche, la zone n'étant pas habitée, elle ne sera pas retenue pour l'implantation de la remorque laboratoire pour les quatre mois de campagne de mesure. Un site en zone habitée, au sud-ouest de la chaufferie, au-delà de l'autoroute sera privilégié. Cette campagne a pour objectif d'évaluer l'impact de la chaufferie sur la qualité de l'air respirée par les habitants du quartier Monplaisir et de mettre les concentrations mesurées au regard de la réglementation en vigueur dans l'air ambiant.

Campagne de mesure

La campagne de mesure a eu lieu du 25/01/2023 au 05/06/2023. La chaufferie est entrée en fonctionnement fin avril, uniquement par la production de la petite chaudière biomasse. La plus grande chaudière n'était pas en fonctionnement lors des mesures.

Les concentrations en NO₂ et en particules PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées durant la campagne seront mises en perspective avec celles de la station de fond urbain des Beaux-Arts d'Angers. Ce site n'étant pas à proximité immédiate de sources de pollution, il est considéré comme étant représentatif des variations de concentrations ambiantes, en milieu urbain.

Site de mesure

L'étude de modélisation indique un impact maximal de la chaufferie à l'est-nord-est de celle-ci pour les quatre polluants modélisés. Cette zone, n'étant pas habitée, elle n'a pas été retenue pour l'installation des mesures. Un site au sud de l'autoroute a ainsi été privilégié, à environ 300 mètres de la chaufferie, sur le terrain des Restos du Cœur Angers-Doyenné. Ce site sera appelé « Monplaisir » dans la suite du rapport.

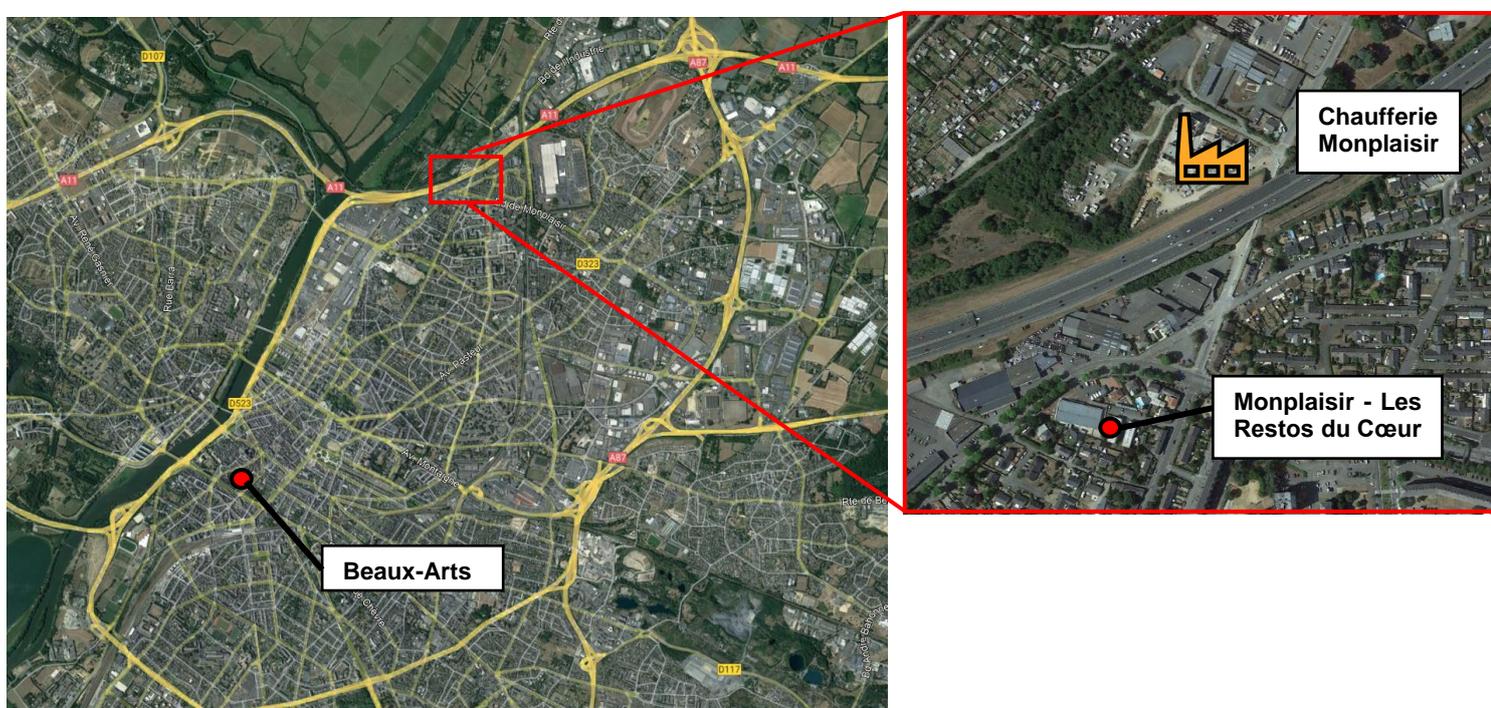


Figure 4 : localisation de la chaufferie, du site de mesure et du site de référence (source : Google Earth)

L'emplacement des mesures se trouve sous les vents de la chaufferie par vents de 10°N et 20°N.

La chaufferie a été mise en fonctionnement durant la fin du mois d'avril. Seule la petite chaudière a été mise en fonctionnement, à haute charge.

Conditions météorologiques

La figure suivante présente la rose des vents durant les quatre mois de mesure. Celle-ci indique, pour chaque direction, la fréquence de survenue des vents.

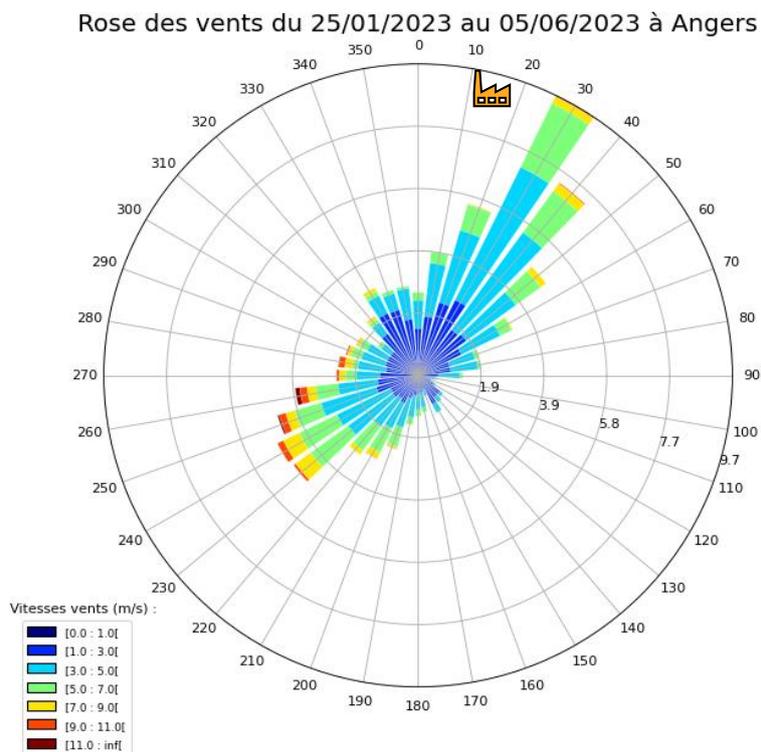


Figure 5 : rose des vents de la station Météo-France d'Angers Beaucouzé

La rose des vents indique des directions majoritaires de nord-est et de sud-ouest. Les directions 10°N et 20°N représentent environ 9.5 % du temps.

Dioxyde d'azote NO₂

 <p>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).</p>	 <p>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.</p>	 <p>Les taux de NO_x sont généralement plus élevés près des voies de circulation et sous les vents des établissements industriels à rejets importants.</p>	 <p>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.</p>	 <p>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.</p>
---	---	---	---	---

Le graphique suivant présente l'évolution des concentrations moyennes journalières en NO₂ respectivement sur le site de Monplaisir et des Beaux-Arts (centre-ville d'Angers) :

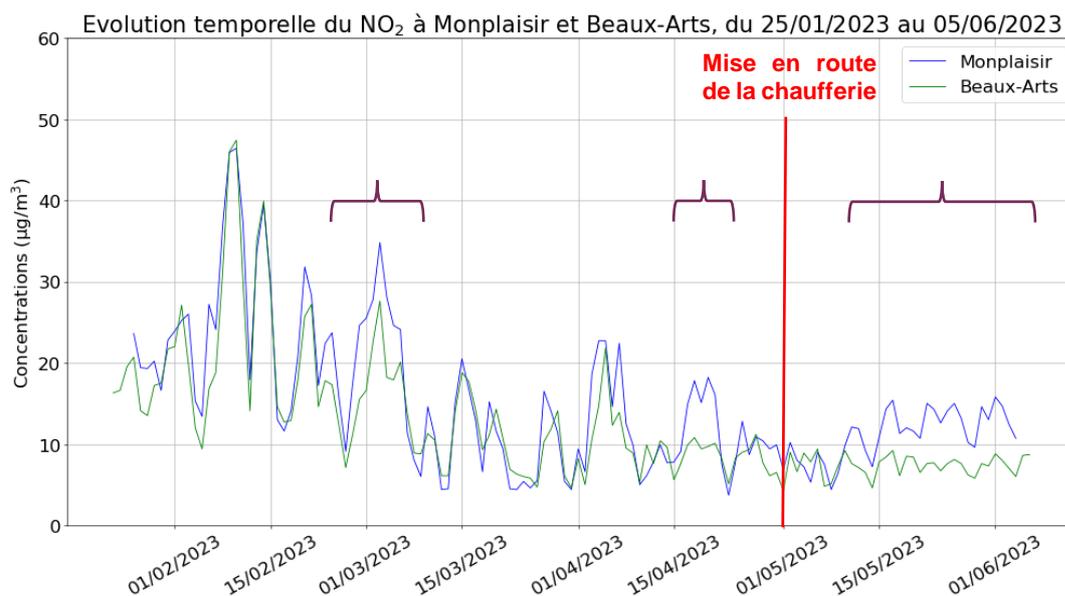


Figure 6 : évolution des moyennes journalières en NO₂ à Monplaisir et Beaux-Arts durant la campagne

La figure 6 montre des variations de concentrations journalières homogènes entre les deux sites, excepté durant trois périodes (du 21/02 au 03/03, du 15/04 au 22/04 et du 10/05 au 05/06), où des concentrations sensiblement élevées (respectivement de +30 %, +49 % et +66 %) ont été mesurées à Monplaisir par rapport à Beaux-Arts, traduisant d'une influence locale plutôt que régionale.

Ces périodes sont caractérisées par des vents exclusivement de nord-est (cf. annexe 3). Ce sont des conditions anticycloniques propices à l'accumulation des polluants. Les deux premières périodes ont eu lieu avant la mise en route de la chaufferie. L'influence de la chaufferie est donc exclue et l'influence notamment de l'autoroute est privilégiée pour expliquer les concentrations plus élevées des deux premières périodes.

Les niveaux de pollution en NO₂ durant cette troisième période, lorsque le site se trouve sous les vents de la chaufferie (10-20°N), ne montrent pas de surconcentration, indiquant une absence d'influence significative de la chaufferie durant la troisième période du 10/05 au 05/06.

La figure suivante présente l'évolution des concentrations en NO₂ à Monplaisir et à Beaux-Arts au sein d'une journée moyenne.

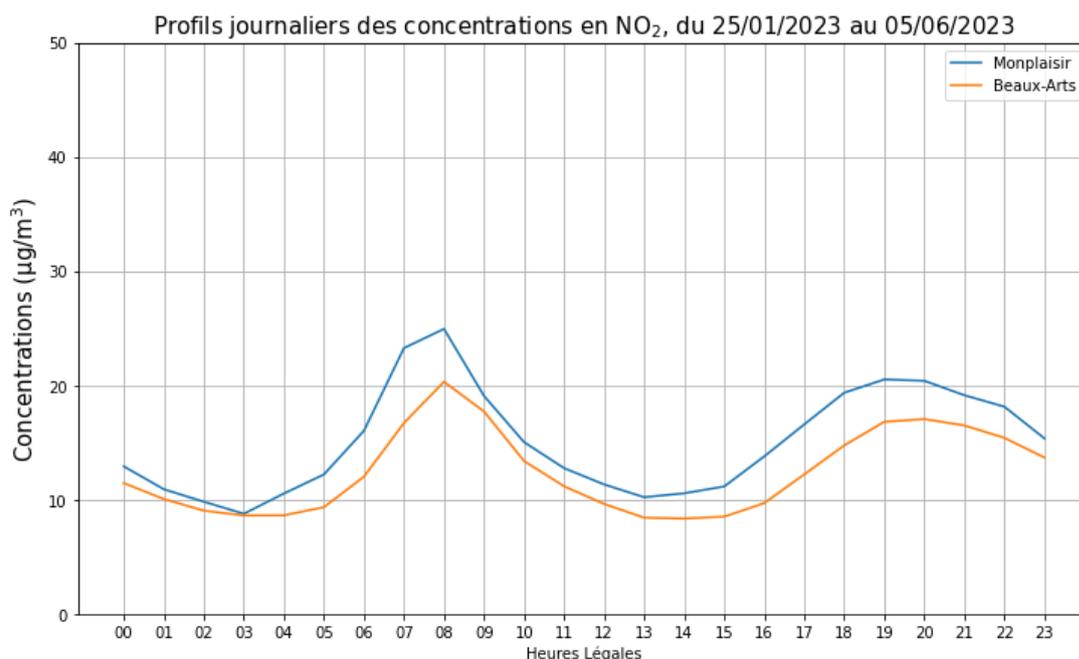


Figure 7 : profil journalier des concentrations en NO₂ à Monplaisir et Beaux-Arts

L'évolution des concentrations en NO₂ au sein d'une journée moyenne est similaire entre les deux sites de mesure, et est caractéristique de l'évolution du trafic routier dans la journée. Néanmoins, les concentrations mesurées à Monplaisir sont plus élevées que celles de Beaux-Arts du fait de la proximité du site de Monplaisir à l'autoroute A11.

La figure suivante présente les boxplots des concentrations en NO₂ mesurées à Monplaisir et à Beaux-Arts durant la campagne de mesure.

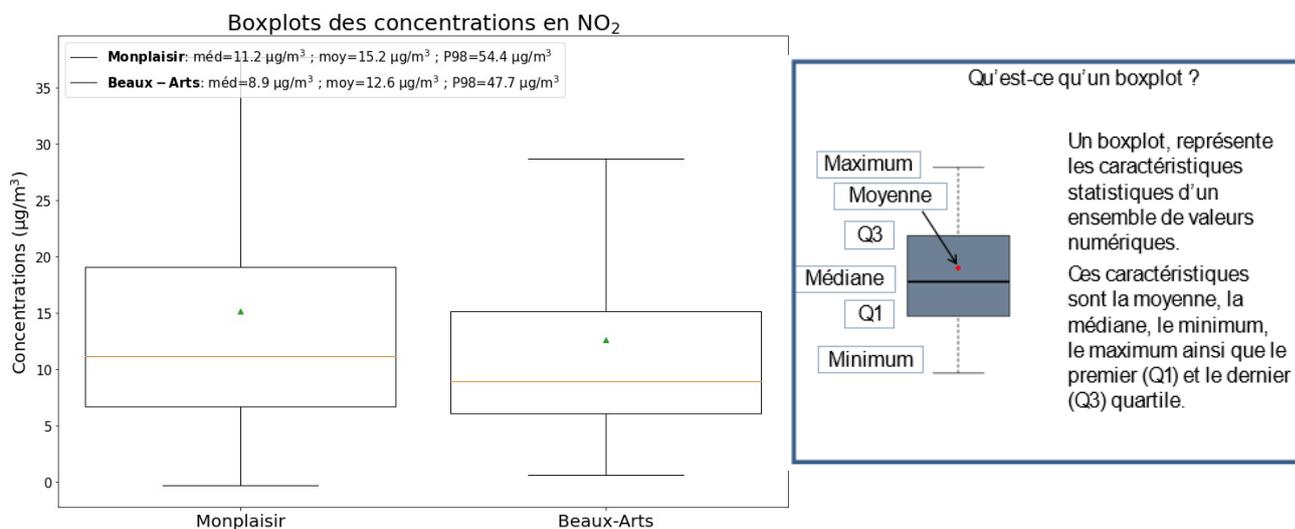


Figure 8 : boxplot des concentrations horaires durant la campagne

Les concentrations en moyenne et en médiane sont plus élevées (respectivement de +20 % et +25 %) à Monplaisir qu'en fond urbain à Beaux-Arts.

Des roses de pollution moyenne et en percentiles 98 ont été tracées afin de déterminer l'impact potentiel des émissions de la chaufferie Monplaisir. Une rose de pollution représente les concentrations mesurées pour chaque direction de vents. Celles-ci ont été tracées durant la période de fonctionnement de la chaufferie, à partir de début mai 2023.

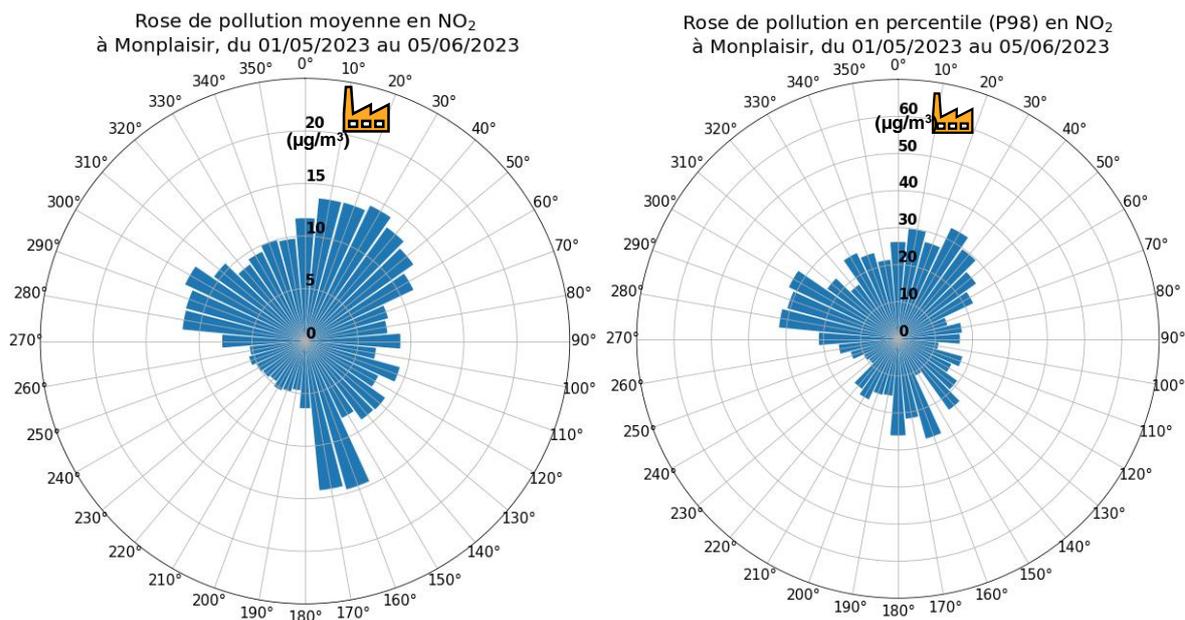


Figure 9 : roses de pollution en moyenne et en P98 du NO₂ à Monplaisir, lors du fonctionnement de la chaufferie

Des concentrations moyennes et de pointe (P98) plus élevées par vents de sud-est, de nord-est et d'ouest. Les directions de sud-est et d'ouest ressortent également sur les roses de pollution des Beaux-Arts (cf. annexe 2) indiquant une influence régionale plutôt que locale étant donné que ce site n'est pas influencé par l'autoroute ni la chaufferie.

Les directions préférentielles de nord-est s'expliquent par la présence de l'autoroute dans ces directions et par des conditions météorologiques propices à la stagnation des polluants.

Les directions 10-20°N ne ressortent pas particulièrement sur les roses de pollution, indiquant une absence d'influence significative de la chaufferie sur les concentrations en NO₂ mesurées à Monplaisir.

Respect de la réglementation

Avec une concentration horaire maximale de 87,4 µg/m³ relevée à Monplaisir le 10 février 2023, aucune des valeurs relevées à Monplaisir durant la campagne ne dépasse le seuil d'information et de recommandation fixée à 200 µg/m³ en moyenne horaire. La valeur guide de l'OMS en moyenne journalière de 25 µg/m³ n'est en revanche pas respectée au cours de la campagne, avec un maximum journalier de 46,4 µg/m³ également établi le 10 février 2023.

Particules PM10

<p>?</p> <p>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 aux transports routiers, au chauffage au bois et à l'agriculture.</p>	<p>🕒</p> <p>Les épisodes de pollution par les particules fines se produisent principalement l'hiver ou au printemps.</p>	<p>📍</p> <p>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.</p>	<p>👤</p> <p>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 cancérigènes.</p>	<p>🌳</p> <p>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.</p>
---	---	--	---	--

L'évolution des concentrations moyennes journalières en PM10, respectivement sur le site de Monplaisir et des Beaux-Arts, est présentée dans la figure suivante :

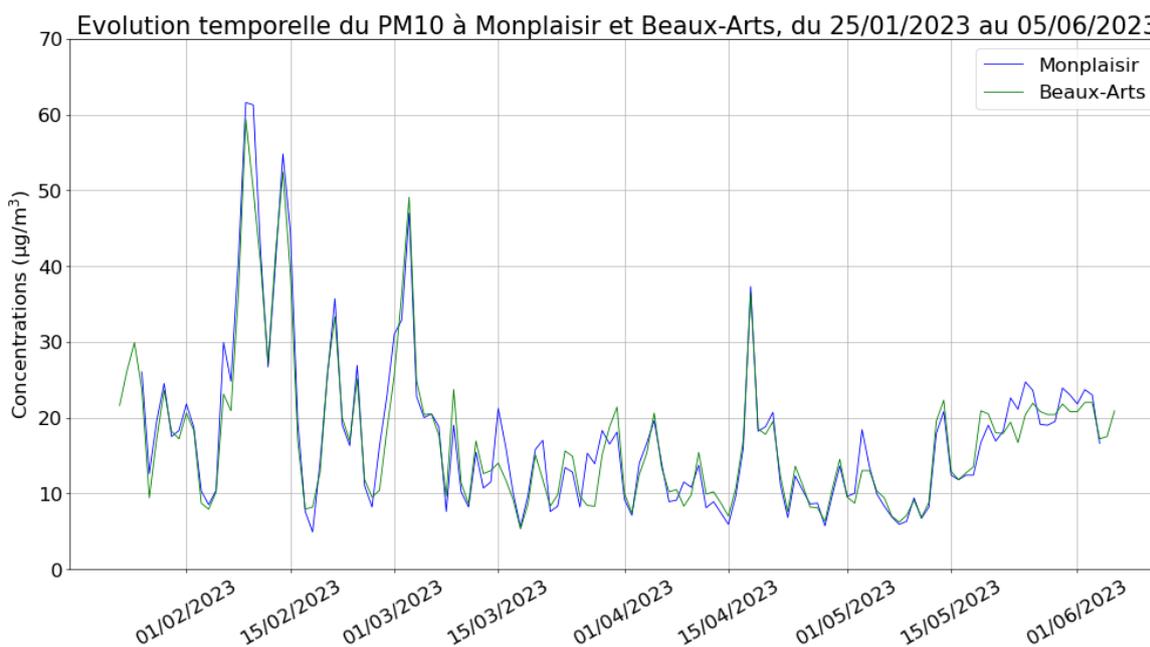


Figure 10 : évolution des moyennes journalières en PM10 à Monplaisir et Beaux-Arts durant la campagne

Les évolutions de concentrations moyennes journalières sont homogènes entre les deux sites de mesure, indiquant que ces dernières sont plutôt d'origine régionale que locale.

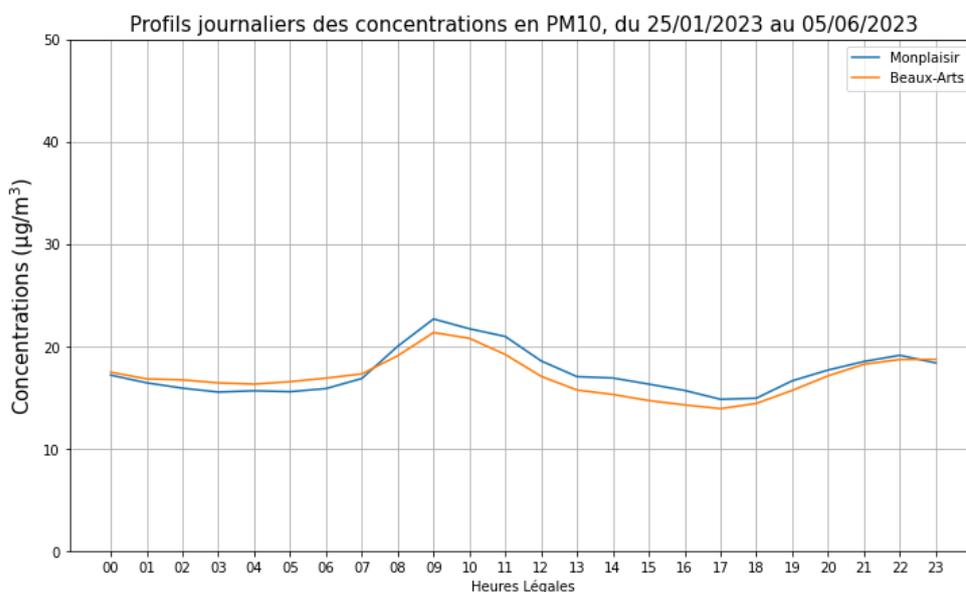


Figure 11 : profil journalier des concentrations en PM10 à Monplaisir et Beaux-Arts

Les profils journaliers indiquent deux hausses des concentrations de manière simultanée sur les deux sites, le matin et le soir, avec des maximums à 9h et 22h.

Ces élévations des concentrations sont attribuées à la conjonction :

- de conditions météorologiques peu dispersives, plus propices à l'accumulation des polluants le matin et, dans une moindre mesure le soir (en lien avec l'évolution de la hauteur de couche limite dans la journée, qui détermine le volume dans lequel les polluants seront dispersés) ;
- des pics d'activités du matin (trafic routier notamment) et du soir (trafic routier et chauffage urbain).

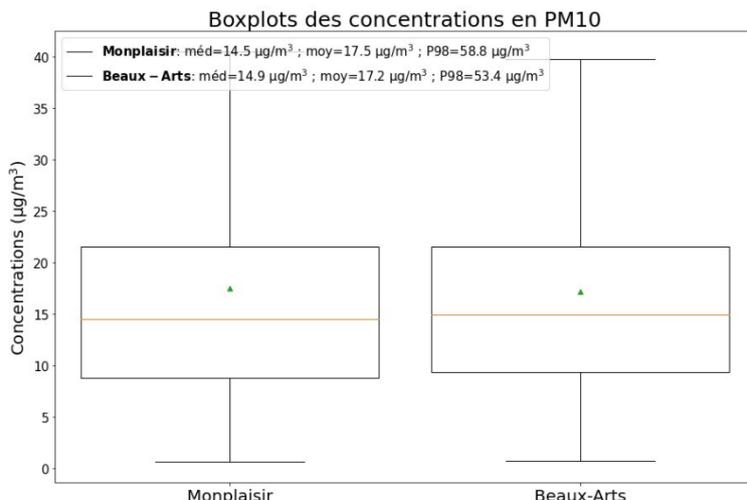


Figure 12 : boxplots des concentrations en PM10 à Monplaisir et Beaux-Arts

Les concentrations en PM10 sont, en moyenne et en médiane, de même ordre sur les deux sites.

La figure suivante indique les niveaux de concentrations selon la direction des vents durant la période de fonctionnement de la chaufferie :

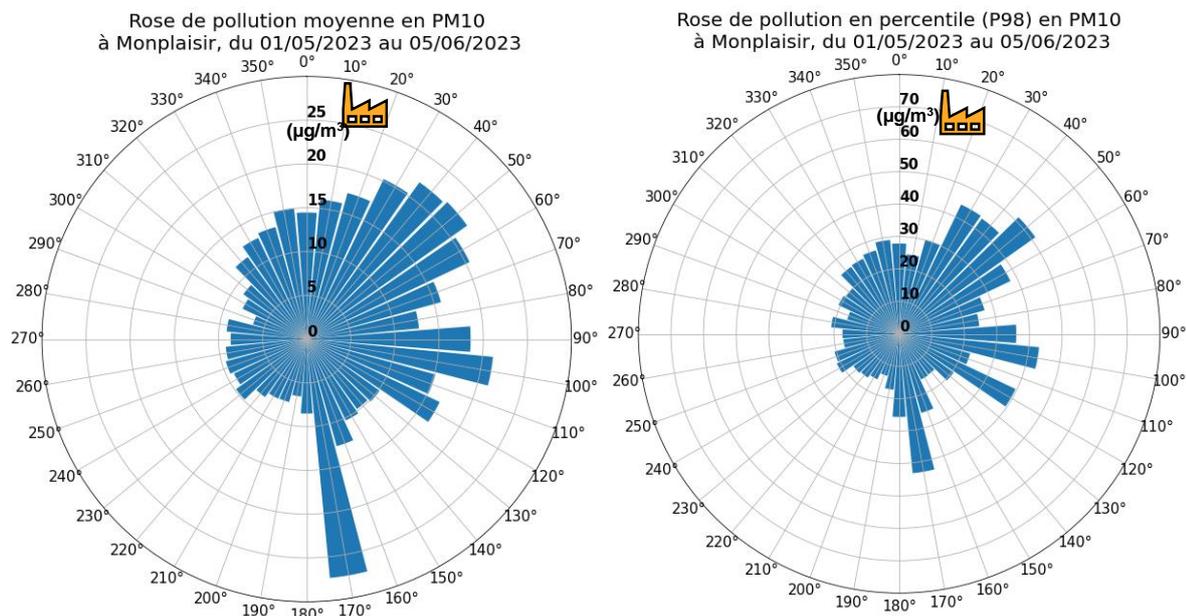


Figure 13 : roses de pollution en moyenne et en P98 des PM10 à Monplaisir, lors du fonctionnement de la chaufferie

La rose de pollution en moyenne illustre des directions préférentielles au nord-est et à l'est-sud-est. Ces directions sont également présentes sur la rose de pollution moyenne des Beaux-Arts (cf annexe 2), traduisant une influence régionale dans ces directions.

La rose de pollution en niveaux de pointe (percentile 98) fait apparaître des niveaux plus élevés dans les mêmes directions. Ces directions ne sont cependant pas présentes sur la rose P98 des Beaux-Arts. On remarque par ailleurs, sur les deux types de rose, une élévation des concentrations par vents de 170°N qui n'est pas visible aux Beaux-Arts. Cela traduit une influence locale à Monplaisir des niveaux de pointe dans ces directions.

Les directions 10 et 20°N ne ressortent pas particulièrement, indiquant une absence d'influence significative des émissions de PM10 de la chaufferie sur les concentrations mesurées à Monplaisir.

Respect de la réglementation

Le seuil d'information et de recommandation fixé à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière a été dépassé à trois reprises durant la campagne de mesure : le 9, 10 et 14 février, avec respectivement des niveaux de $61,6$, $61,3$ et $54,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an a de fortes chances d'être respectée par comparaison au suivi historique des PM10 enregistré sur les stations permanentes d'Air Pays de la Loire.

Le seuil d'alerte de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a cependant jamais été dépassé durant la campagne.

Avec une moyenne de $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle a également de fortes chances d'être respectée.

En revanche, la valeur guide de l'OMS de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière n'a pas été respectée, avec quatre dépassements durant la campagne.

Il est à noter que ces dépassements ont également été constatés sur les autres agglomérations des Pays de la Loire et plus largement sur le Nord de la France (cf. carte suivante). Ces épisodes de pollution généralisée sont dus notamment à des conditions météorologiques (inversion de températures durant une période anticyclonique) favorables à la stagnation des polluants.

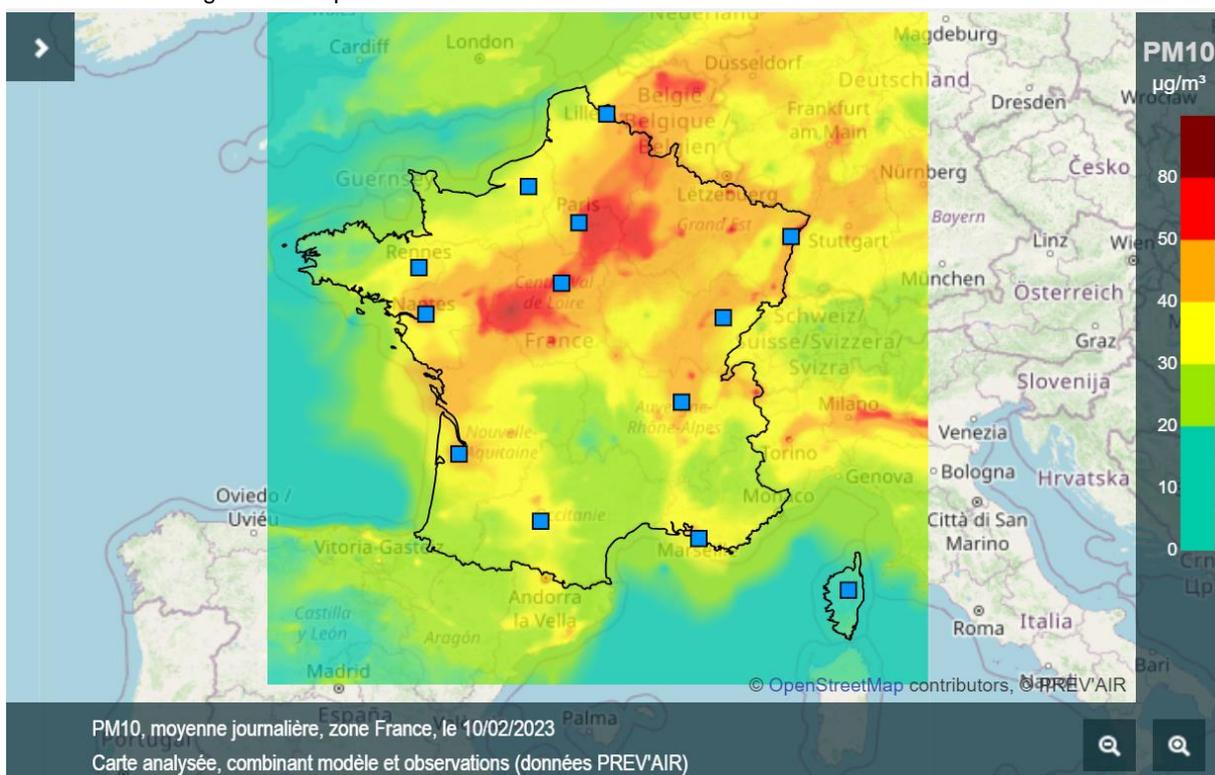


Figure 14 : concentrations moyennes journalières modélisées en France (source : PREV'AIR)

Particules fines PM2.5

 <p>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 aux transports routiers, au chauffage au bois et à l'agriculture.</p>	 <p>Les épisodes de pollution par les particules fines se produisent principalement l'hiver ou au printemps.</p>	 <p>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.</p>	 <p>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.</p>	 <p>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.</p>
---	---	--	---	--

La figure suivante présente l'évolution des moyennes journalières des PM2.5 sur les deux sites :

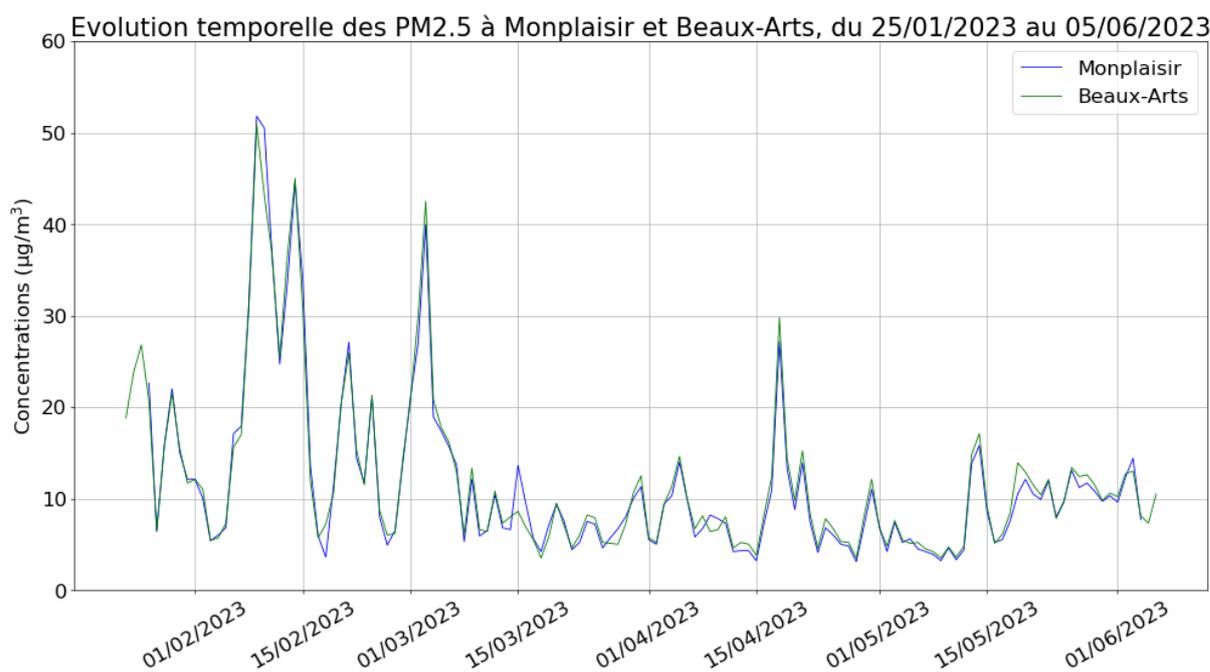


Figure 15 : évolution des moyennes journalières en PM2.5 à Monplaisir et Beaux-Arts durant la campagne

De même que pour les PM10, les concentrations en PM2.5 mesurées sur les deux sites de mesure sont proches durant la campagne, indiquant une influence régionale.

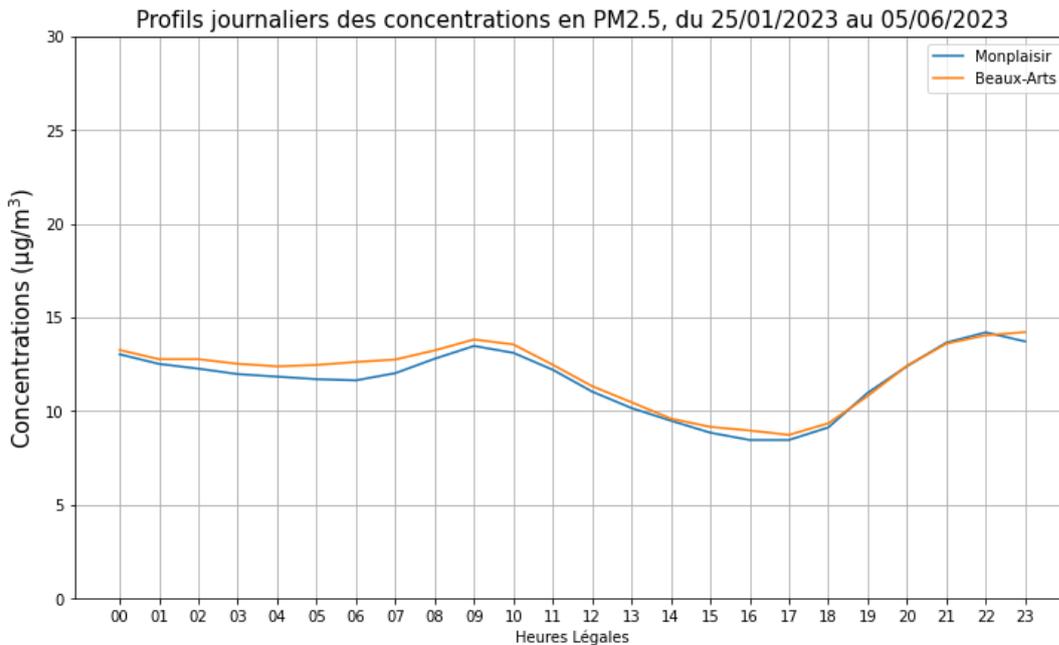


Figure 16 : profil journalier des concentrations en PM2.5 à Monplaisir et Beaux-Arts

Le profil journalier des concentrations en PM2.5 montre deux élévations des concentrations dans la journée, en lien d'une part avec des conditions météorologiques plus favorables à l'accumulation des polluants le matin et le soir et d'autre part, avec des pics d'activités durant ces périodes de la journée (trajets domicile-travail et chauffage). Des concentrations légèrement plus élevées en PM2.5 ont été observées sur le site des Beaux-Arts, comme l'indique les boxplots suivants :

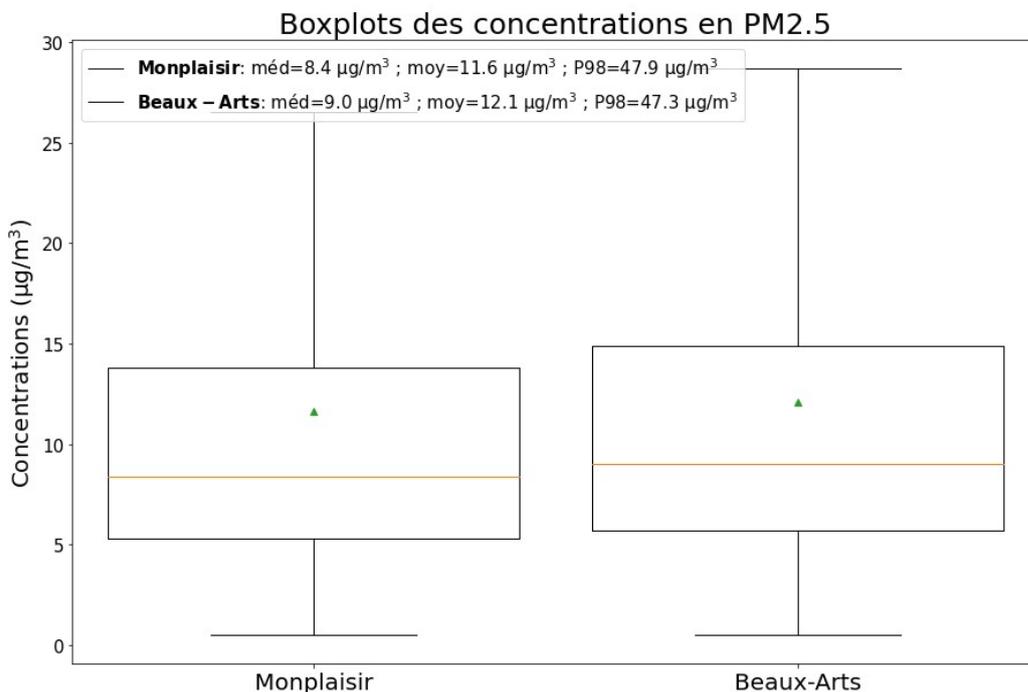


Figure 17 : boxplots des concentrations en PM2.5 à Monplaisir et Beaux-Arts

Les boxplots des concentrations en PM2.5 montrent des niveaux plus élevés aux Beaux-Arts qu'à Monplaisir (+4,3 % en moyenne et 7,1 % en médiane aux Beaux-Arts par rapport à Monplaisir).

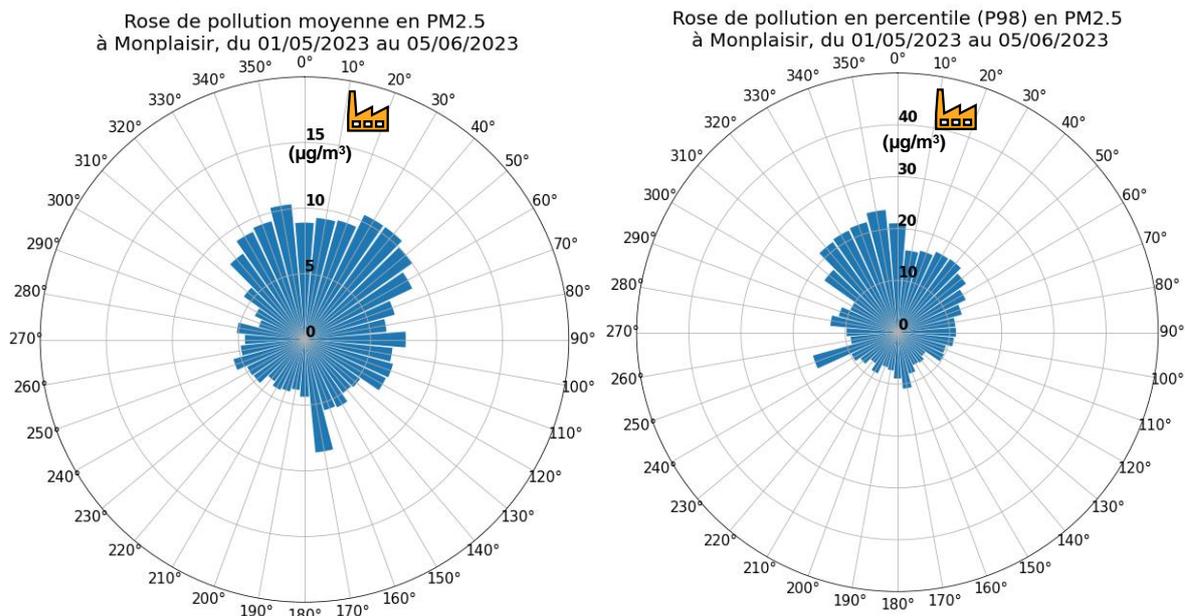


Figure 18 : roses de pollution en moyenne et en P98 des PM2.5 à Monplaisir, lors du fonctionnement de la chaufferie

Les roses de pollution en PM2.5 montrent des directions privilégiées de nord-ouest et nord-est, où les concentrations moyennes et en P98 sont plus élevées. Les mêmes directions apparaissent sur les roses de la station des Beaux-Arts, indiquant un impact régional plutôt que local sur les concentrations mesurées dans ces directions.

Aucune influence particulière de la chaufferie n'a été détecté sur les concentrations en PM2.5 mesurées à Monplaisir durant la campagne de mesure.

Respect de la réglementation

Avec une moyenne de 11,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 sur les quatre mois de la campagne, la valeur limite fixée à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle a de fortes chances d'être respectée. En revanche, l'objectif qualité de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle a peu de chances d'être respectée. Les valeurs guides de l'OMS (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 4 jours par an ainsi que les 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) ne seront quant à elles pas respectées sur aucune des deux stations.

Le dioxyde de soufre SO₂

<p>?</p> <p>Le dioxyde de soufre provient généralement de la combinaison des impuretés soufrées des combustibles fossiles avec l'oxygène de l'air, lors de leur combustion. Les procédés de raffinage du pétrole rejettent aussi des produits soufrés. Il existe des sources naturelles de dioxyde de soufre (éruptions volcaniques, feux de forêt).</p>	<p>🕒</p> <p>Ponctuellement, en fonction des émissions industrielles, des phénomènes naturels et de la direction des vents.</p>	<p>📍</p> <p>Les zones sous les vents des établissements industriels émetteurs sont les plus touchées.</p>	<p>👤</p> <p>Le SO₂ est un irritant des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires supérieures (toux, gêne respiratoire). Il agit en synergie avec d'autres substances, notamment avec les particules fines.</p>	<p>🌳</p> <p>Le SO₂ se transforme en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air et participe au phénomène des pluies acides. Il contribue également à la dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux monuments.</p>
---	---	--	---	--

En raison de l'absence de mesures de SO₂ à Angers, les niveaux relevés durant la campagne ne seront pas mis en perspective avec un autre site de mesure.

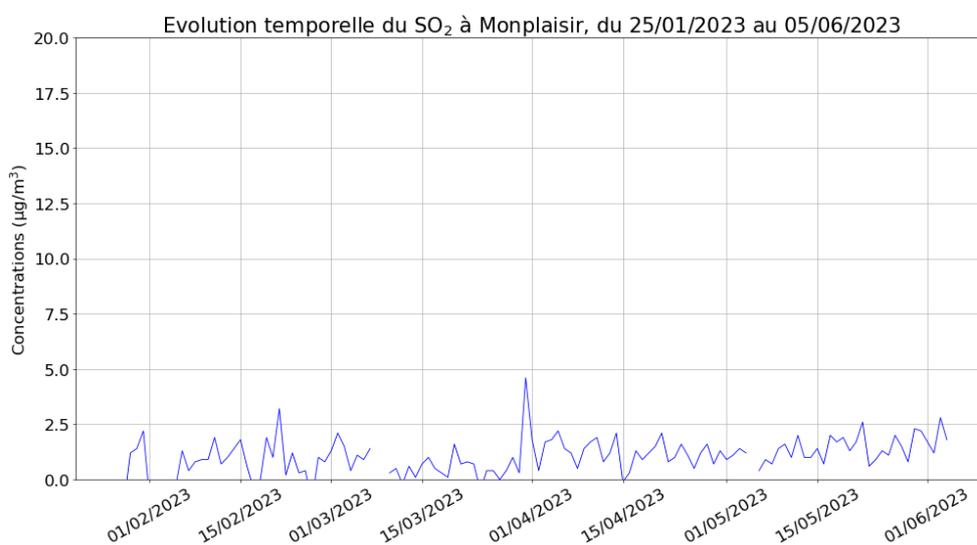


Figure 19 : évolution des moyennes journalières en SO₂ à Monplaisir durant la campagne

L'évolution des moyennes journalières en SO₂ durant la campagne montre des niveaux faibles, oscillant généralement entre 0 et 2,5 µg/m³.

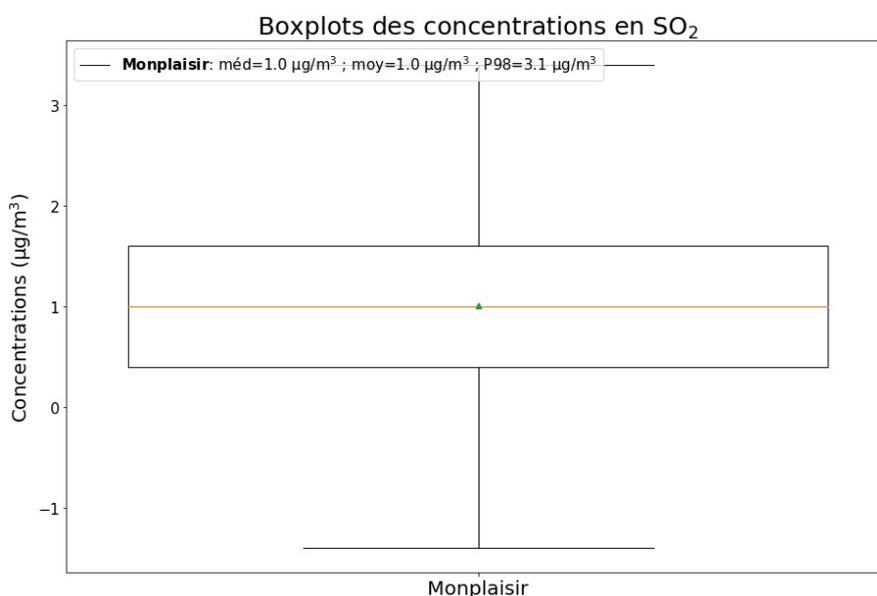


Figure 20 : boxplot des concentrations en SO₂ à Monplaisir durant la campagne

La concentration moyenne en SO₂ est égale à la concentration médiane, qui s'élève à 1 µg/m³.

Hors directions de sud-est, les niveaux de concentrations mesurées sont homogènes :

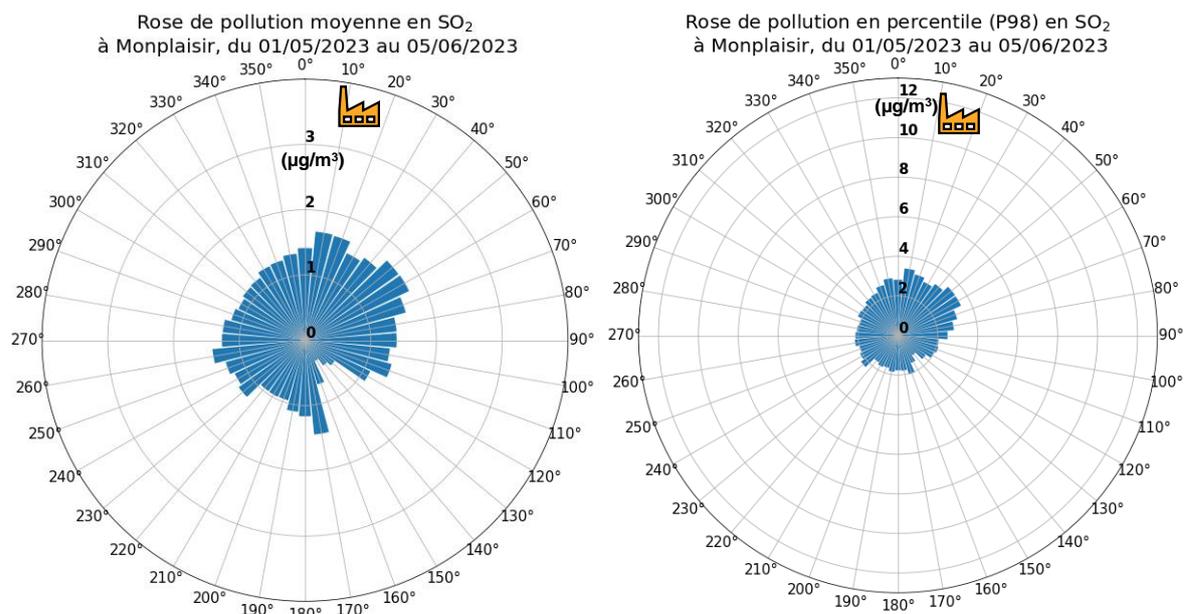


Figure 21 : roses de pollution en moyenne et en P98 du SO₂ à Monplaisir, lors du fonctionnement de la chaufferie

Les concentrations mesurées par vents de 10-20°N sont de 1,65 µg/m³ en moyenne. Ces niveaux sont faibles et proches de la limite de détection de l'appareil. Ils sont identiques à ceux enregistrés dans les directions de 50°N et 60°N qui ne placent pas le site sous les vents de la chaufferie.

Aucune influence notable de la chaufferie sur les concentrations en SO₂ mesurées à Monplaisir n'a été détectée lors de la période de fonctionnement.

Respect de la réglementation

Avec une moyenne journalière maximale de 4,6 µg/m³, la valeur guide de l'OMS de 40 µg/m³ est respectée. Le maximum horaire mesuré lors de la campagne est de 10,8 µg/m³. Ce maximum horaire est près de 28 fois inférieur au seuil d'information et de recommandation de 300 µg/m³ en moyenne horaire.

Le carbone suie BC

La combustion du bois est une combustion incomplète qui émet du carbone suie (autrement appelé *Black Carbon*). Il est possible de différencier la part liée à la combustion de biomasse dans le carbone suie de celle issue de la combustion d'hydrocarbures. Il est à noter que les mesures de carbone suie ont été réalisées après la période de chauffe hivernale. Ainsi, les concentrations mesurées ne sont pas influencées par les émissions liées aux chauffages individuels au bois comme les cheminées, poêles et inserts.

La figure suivante présente l'évolution de la proportion de carbone suie liée à la combustion de biomasse au sein de la journée, durant la période de fonctionnement de la chaufferie :

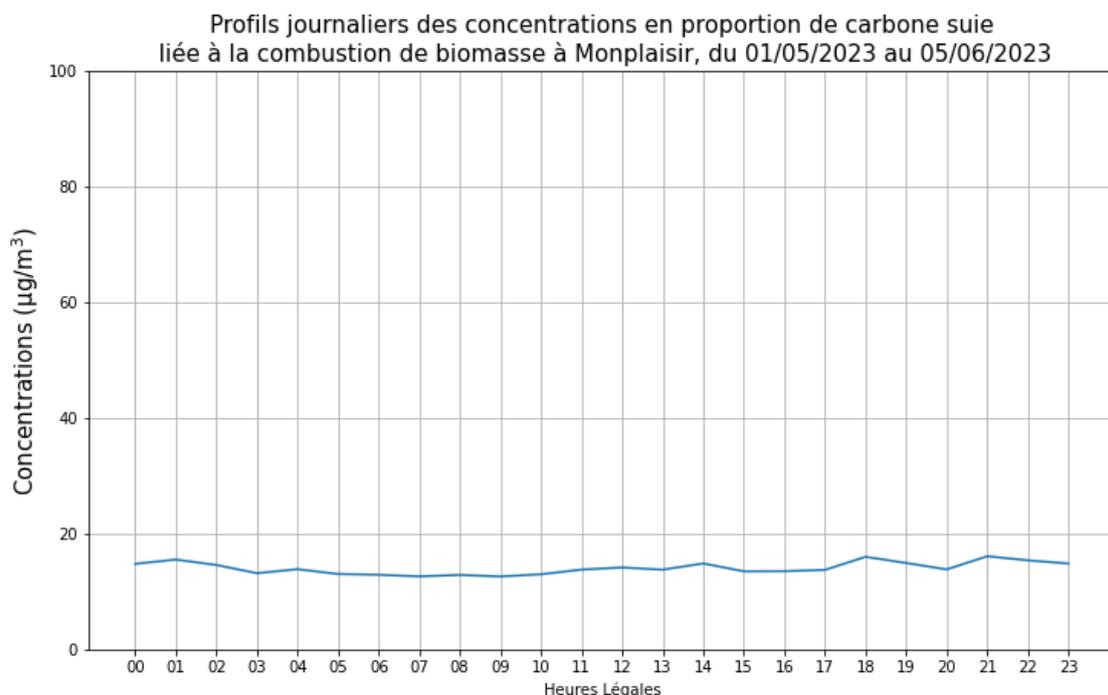
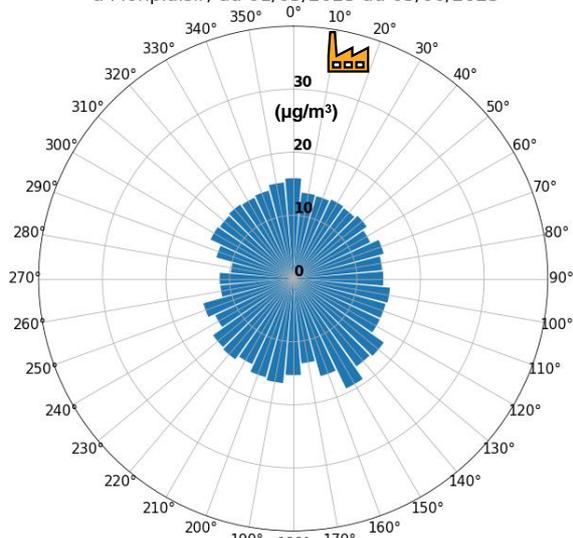


Figure 22 : profil journalier de la part de carbone suie liée à la combustion de biomasse à Monplaisir, durant la période de fonctionnement de la chaufferie

La figure 22 indique une proportion stable au sein de la journée, entre 13 % et 16 % selon les heures. Cela s'explique par la période d'étude qui se trouve hors période hivernale, caractérisée par une absence de recours au chauffage individuel au bois.

Les roses suivantes ont été tracées afin de déterminer si la chaufferie a une incidence sur le black carbone issu de la combustion de biomasse mesuré à Monplaisir :

Rose de pollution moyenne en proportion de carbone suie liée à la combustion de biomasse à Monplaisir, du 01/05/2023 au 05/06/2023



Rose de pollution en percentile (P98) en proportion de carbone suie liée à la combustion de biomasse à Monplaisir, du 01/05/2023 au 05/06/2023

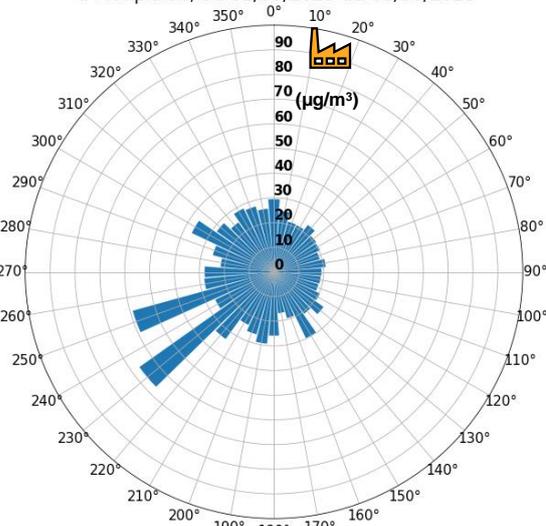


Figure 23 : roses de pollution de la part de carbone suie liée à la combustion de biomasse à Monplaisir, durant la période de fonctionnement de la chaufferie

Que ce soit en moyenne ou en niveaux de pointe, la figure 22 ne montre aucune influence de la chaufferie dans les directions 10-20°N.

Conclusion

Les résultats de l'étude de modélisation ont montré, au niveau des habitations les plus exposées aux émissions de la chaufferie, des niveaux faibles en NO₂ (de l'ordre de 0,2 µg/m³) et en particules PM10 et PM2.5 (de l'ordre de 0,1 µg/m³), et inférieurs à 3 µg/m³ pour le SO₂.

En moyenne annuelle, l'impact modélisé de l'autoroute est plus élevé pour le NO₂ (des surconcentrations de l'ordre de 8 à 10 µg/m³) ainsi que pour les PM10 et les PM2.5 (de l'ordre de 2 à 3 µg/m³).

Le suivi, du 25 janvier 2023 au 5 juin 2023, des niveaux de poussières (PM10 et PM2.5), du dioxyde d'azote (NO₂), du dioxyde de soufre (SO₂) et du carbone suie dans le quartier Monplaisir à Angers a montré :

- Une influence plus marquée du trafic routier sur le site de Monplaisir qu'en milieu urbain d'Angers pour le NO₂, du fait de la présence de l'autoroute à proximité du site de mesure ;
- Des niveaux de même ordre entre le site de Monplaisir et du centre d'Angers pour les poussières (différences de moyennes de 1,7 % et 4,3 % respectivement pour les PM10 et PM2.5) ;
- Des niveaux proches de la limite de détection pour le SO₂ ;
- Aucune mise en évidence de l'influence des émissions de la chaufferie Monplaisir sur les concentrations de l'ensemble des polluants mesurées durant la campagne.
- Un respect des seuils réglementaires pour le NO₂, les PM2.5 et le SO₂ ;
- 3 dépassements (9, 10 et 14 février 2023) du seuil d'information pour les PM10 sur les deux sites de mesure. Ces épisodes de pollution ne sont pas spécifiques au quartier Monplaisir mais généralisés sur la partie Nord de la France.

En revanche, les valeurs guides de l'OMS sont dépassées pour les PM10, PM2.5 et le NO₂. Ces dépassements ne sont pas spécifiques au quartier Monplaisir mais sont constatés de manière générale en milieu urbain.

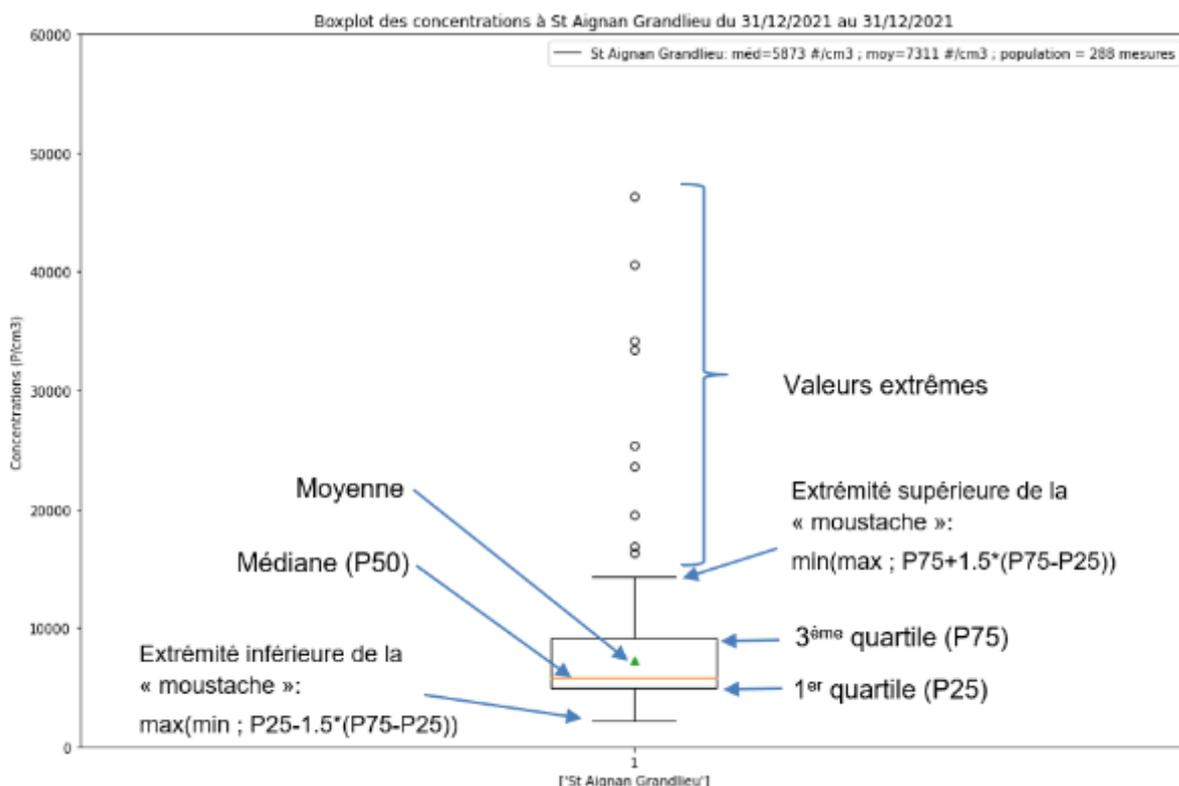
La chaufferie ayant été en fonctionnement uniquement sur la petite chaudière biomasse, et ce, à partir de la fin avril, il n'est pas garanti qu'un fonctionnement à pleine charge de celle-ci n'ait aucune incidence décelable sur la qualité de l'air. Une campagne de mesure complémentaire lors du fonctionnement nominal de la chaufferie est recommandée.

Annexes

- Annexe 1 : définition d'un boxplot
- Annexe 2 : roses de pollution à la station des Beaux-Arts d'Angers durant la période de fonctionnement de la chaufferie
- Annexe 3 : roses des vents durant les périodes où Monplaisir est plus impactée que Beaux-Arts
- Annexe 4 : seuils de qualité de l'air 2022

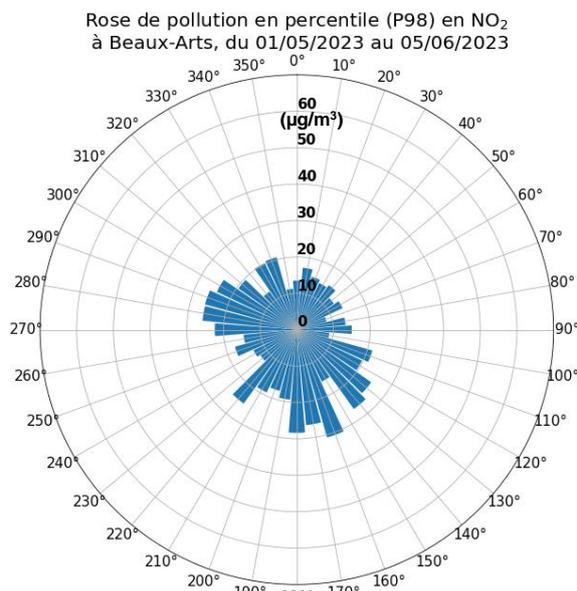
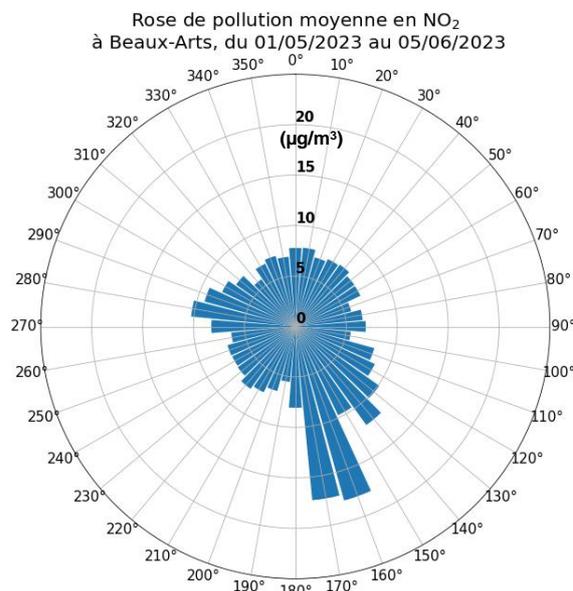
Annexe 1 : définition d'un boxplot

Le Boxplot, appelé également « Boîte à moustaches », permet d'étudier la distribution des concentrations. Il représente d'une manière simple la répartition d'un groupe d'observations et synthétise une série de statistiques descriptives telles que la médiane, le 1^{er} et 3^e quartile ainsi que les observations qui s'écartent fortement de la population étudiée dites valeurs extrêmes.

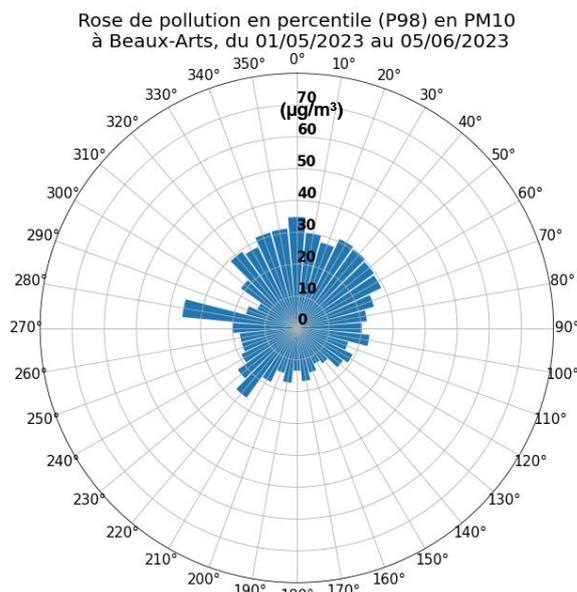
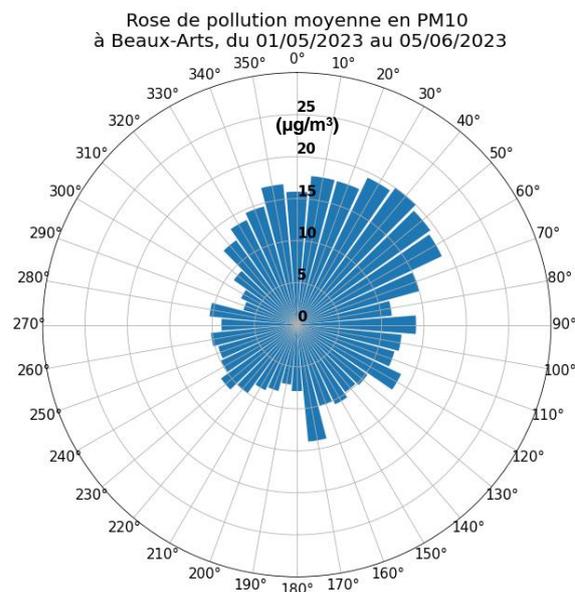


Annexe 2 : roses de pollution à la station des Beaux-Arts d'Angers durant la période de fonctionnement de la chaufferie

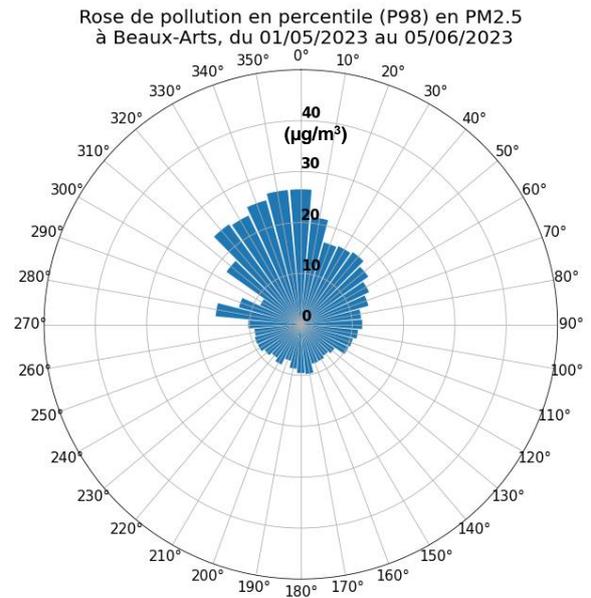
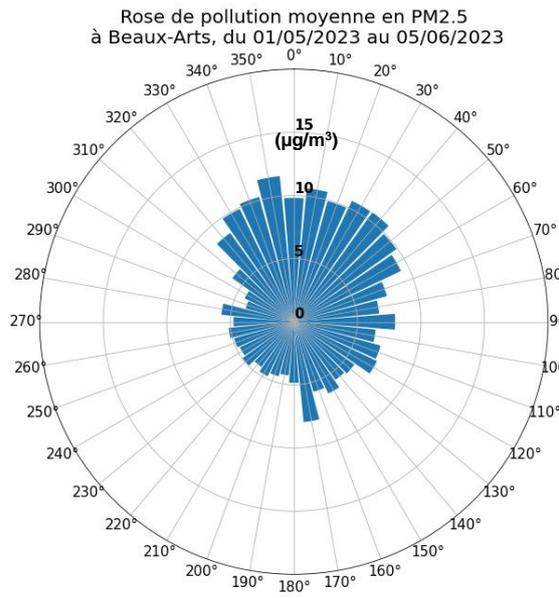
NO₂ :



PM10 :



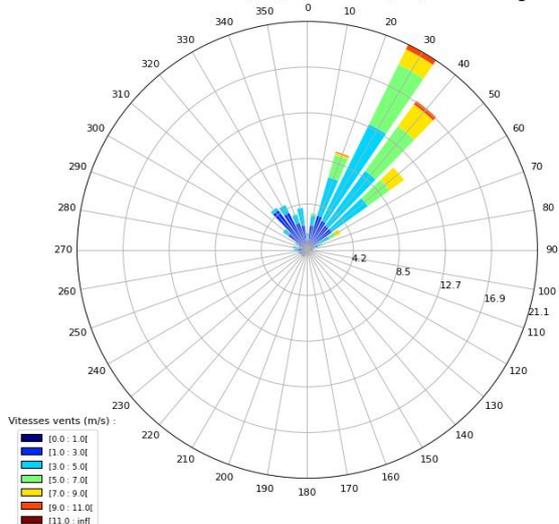
PM2.5 :



Annexe 3 : roses des vents durant les périodes où Monplaisir est plus impactée que Beaux-Arts

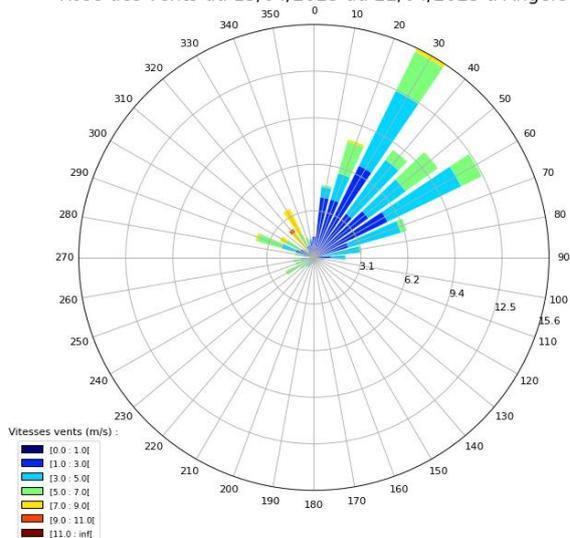
Période du 21/02 au 03/03

Rose des vents du 21/02/2023 au 03/03/2023 à Angers



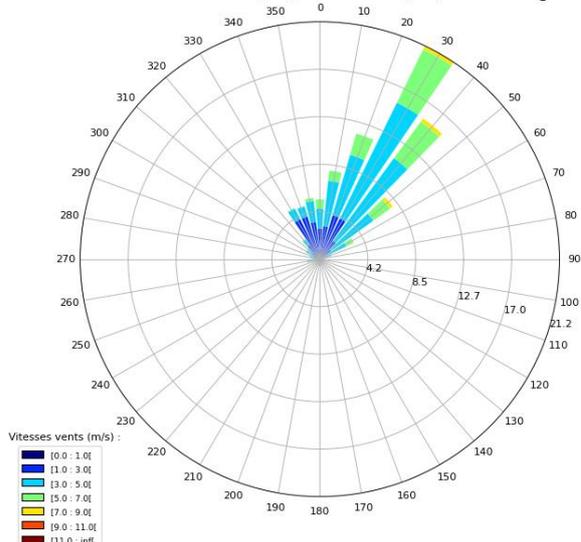
Période du 15/04 au 22/04

Rose des vents du 15/04/2023 au 22/04/2023 à Angers



Période du 10/05 au 05/06

Rose des vents du 10/05/2023 au 05/06/2023 à Angers



Annexe 4 : seuils de qualité de l'air 2022

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 ⁽¹⁾ 2 ^{ème} seuil : 300 ⁽¹⁾ 3 ^{ème} seuil : 360	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 90,4 annuel)
 (3) à ne pas dépasser plus de 3 par an (percentile 99,2 annuel)
 (4) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,9 annuel)
 (5) à ne pas dépasser plus de 24h 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.



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