



Polluants d'intérêt national

Évaluation des concentrations en ammoniac (NH_3), particules ultrafines (PUF), carbone suie (BC) et en hydrogène sulfuré (H_2S) en 2022

Juin 2023



air pays de
la Loire
www.airpl.org

Sommaire

Synthèse	3
Introduction	4
Particules ultrafines (PUF)	4
Valeurs de référence	4
Dispositif de mesure.....	4
Principe de mesure.....	4
Site de mesure.....	5
Résultats.....	6
Conclusion	8
L'ammoniac (NH₃)	9
Formation des particules secondaires.....	9
Valeurs de référence	9
Dispositif de mesure.....	10
Sites de mesure	10
Résultats.....	11
Conclusion	13
Le carbone suie (BC)	14
Contexte	14
Valeurs de référence	14
Résultats.....	14
Conclusion	16
Hydrogène sulfuré (H₂S)	17
Contexte	17
Valeurs de référence pour H ₂ S.....	17
Surveillance de H ₂ S dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies à Donges	18
Surveillance de H ₂ S en zone côtière	19
Perspectives	19
Annexes	21

Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : François Ducroz, Eneour Le Guiban, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : équipe métrologie, Validation : François Ducroz, David Bréhon et 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

Contexte

L'ANSES a publié en 2019 un avis relatif à la surveillance de polluants non réglementés dont les effets nocifs sur la santé (atteintes respiratoires, cardiovasculaires et décès anticipés) se confirment avec des niveaux de preuves modérés à forts. L'ANSES recommande de renforcer la surveillance de ces polluants dont font partie les particules ultrafines (PUF), le carbone suie (BC) et les aérosols inorganiques secondaires.

Les particules ultrafines (PUF)

Les concentrations ont été mesurées en milieu urbain à Nantes, au cimetière de la Bouteillerie à partir du 02/03/2022. Elles sont caractérisées par des concentrations moyennes atteignant 5 750 P/cm³. Deux hausses des concentrations ont été observées dans le profil journalier des concentrations en période hivernale, en lien avec le trafic routier pour le pic du matin et avec le trafic routier et le chauffage pour le pic du soir.

En période estivale, les concentrations sont caractérisées par des concentrations plus élevées en journée, du fait de la photochimie¹.

Le carbone suie (BC)

Les concentrations en carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures et à la combustion de biomasse ont été évaluées à la station de fond urbaine du cimetière de la Bouteillerie à Nantes durant l'année 2022.

Les concentrations liées à la combustion d'hydrocarbures sont faibles toute l'année (entre 0,4 et 1 µg/m³) et ne varient que peu dans la journée.

Les concentrations liées à la combustion de biomasse sont également faibles et stables hors saison de chauffe. En revanche durant la période de chauffage, les concentrations mesurées sont plus élevées, entre 1,4 µg/m³ et 5 µg/m³, avec les valeurs les plus élevées en fin de soirée. Ces concentrations s'expliquent notamment par les équipements de chauffage domestique au bois peu efficaces, favorisant la formation de particules (cheminées à foyer ouvert par exemple).

L'ammoniac (NH₃)

Les concentrations en ammoniac ont été mesurées en milieu rural en Vendée, à la station de la Tardière, du 01/03/2022 au 22/11/2022. Elles sont caractérisées par des concentrations moyennes de 5,2 µg/m³. Une hausse des concentrations a été observée dans le profil journalier des concentrations, en lien avec l'augmentation des températures en journée. En journée, les niveaux de concentrations sont plus élevés durant la période estivale qu'au printemps, du fait de la période d'épandages et des températures plus élevées qui favorisent la volatilisation de l'ammoniac.

Le niveau moyen enregistré à la Tardière (5,2 µg/m³) est comparable à celui mesuré sur le site rural de Kergoff en Bretagne (4,8 µg/m³) et plus élevé que le site rural de Oysonville en région Centre Val de Loire (moyenne de 2,8 µg/m³).

L'hydrogène sulfuré (H₂S)

Le suivi réalisé depuis 2011 dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies à Donges montre une influence des émissions de la raffinerie sur les concentrations enregistrées rue Pasteur à Donges par vent de sud-est qui placent le site sous les vents de la partie centrale de la raffinerie. Les niveaux en H₂S demeurent toutefois faibles avec des concentrations qui dépassent le seuil olfactif de l'OMS (7 µg/m³ en moyenne sur une ½ heure) pendant moins de 0,1 % du temps.

Concernant, les émissions d'H₂S liées aux algues, compte tenu du caractère non systématique des échouages d'algues à l'origine de ces émissions sur les côtes ligériennes, il est proposé la mise en place d'un dispositif de surveillance léger basé sur des campagnes de mesure.

¹ Réactions chimiques initiées par le rayonnement solaire et responsables de la formation de certains polluants.

Introduction

Suite à l'amélioration des connaissances au travers d'études récentes concernant l'impact sur la santé de la pollution de l'air, l'ANSES a publié en 2019 un avis relatif à la surveillance de polluants non réglementés et dont les effets nocifs sur la santé (atteintes respiratoires, cardiovasculaires et décès anticipés) se confirment avec des niveaux de preuves forts. Parmi ces polluants se trouvent les aérosols inorganiques secondaires, les particules ultrafines (PUF), et le carbone suie dont l'ANSES préconise un suivi renforcé et insiste, pour ces deux dernières substances, sur la nécessité de compléter et de pérenniser l'acquisition de données dans l'air, compte tenu de leurs enjeux potentiels en termes d'impacts sanitaires.

Cette présente note a pour but de faire l'état des lieux des concentrations typiques que l'on retrouve en milieu de fond urbain à Nantes durant l'année 2022 pour les particules ultrafines et le carbone suie, ainsi qu'en milieu rural pour l'ammoniac, précurseur d'aérosols inorganiques secondaires. Ce document présente également un bilan des concentrations en hydrogène sulfuré (H₂S) enregistrées dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies à Donges.

Particules ultrafines (PUF)

Contexte

Les particules ultrafines (PUF) sont des particules de diamètre inférieure à 100 nm produites essentiellement à la suite de processus de combustion. Il s'agit d'un polluant émergent car sa surveillance en AASQA est récente et se développe et qu'il n'existe pas encore de réglementation à son sujet en air extérieur, bien que les études récentes incriminent de plus en plus ce polluant pour son impact sur la santé.

Air Pays de la Loire a fait l'acquisition début mars 2022 d'un compteur de particules à noyau de condensation (CPC). L'objet de cette note vise à rendre compte des premiers résultats de mesure de ce compteur, installé en station urbaine de Nantes, au cimetière de la Bouteillerie, afin d'évaluer les niveaux de concentrations particulières que l'on retrouve de manière habituelle à Nantes.

Valeurs de référence

Les particules ultrafines font partie des polluants non réglementés dans l'air ambiant en France. Il n'existe à ce jour aucune valeur de référence pour ce polluant.

Néanmoins, le LCSQA a établi, sur base d'une étude bibliographique, des niveaux de concentrations repères pour des typologies de sites de « fond urbain » et de « trafic » à l'échelle nationale et européenne. Des concentrations moyennes de l'ordre de 7 700 P/cm³ et de 9 700 P/cm³ ont été retenues pour les typologies de sites de « fond urbain » et de « trafic » à l'échelle nationale contre respectivement 9 800 P/cm³ et 19 500 P/cm³ à l'échelle européenne.²

Il est cependant important de préciser que les mesures de concentrations en nombre à l'échelle nationale et à l'échelle européenne sont susceptibles d'évoluer avec la consolidation du réseau de surveillance et donc de la robustesse du jeu de données français associée à l'évolution du parc instrumental.

Dispositif de mesure

Principe de mesure

La mesure des concentrations particulières totales en nombre se fait par le biais d'un compteur à noyau de condensation (Condensation Particle Counter, CPC). La mesure est faite en nombre de particules et non en masse car les particules les plus fines ne représentent qu'une petite fraction de la masse totale des particules (de l'ordre de 5 %). Ainsi, la mesure en masse n'est que peu représentative des plus fines particules. La gamme de diamètres des particules mesurées par le CPC s'étend de 5 nm à 5 µm.

² Bilan des niveaux de concentrations particulières en nombre au sein du dispositif nationale en comparaison à l'échelle européenne, LCSQA, décembre 2021

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

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

Comme l'indique le tableau ci-contre, l'étude [Wichmann et al., 2000] met en avant la prédominance du nombre de particules ultrafines (diamètres inférieurs à 100 nm) par rapport au nombre de particules fines (dont les diamètres sont compris entre 100 nm et 2,5 μm), de l'ordre de 88 % du nombre total des particules fines et ultrafines.

À l'inverse, les particules fines prédominent largement en masse, malgré leur faible nombre relatif à celui des PUF. Ainsi, la masse des particules fines est de l'ordre de 97 % de la masse totale des particules fines et ultrafines, contre 3 % pour les particules ultrafines.

Figure 1 : contribution en nombre et en masse des différentes classes de particules [Wichmann et al., 2000]

Site de mesure

La station du cimetière de la Bouteillerie est le site urbain de référence de Nantes. Elle est située au 9, rue Gambetta et mesure en continu les polluants suivants : les oxydes d'azotes (NO_x, NO₂), le carbone suie (BC), les concentrations particulaires en masse (PM10 et PM2.5), l'ozone (O₃) ainsi que les métaux réglementés (arsenic, cadmium, nickel et plomb) et hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Elle mesure également les concentrations particulaires depuis l'installation du CPC début mars 2022.



Figure 2 : photo de la station de Bouteillerie

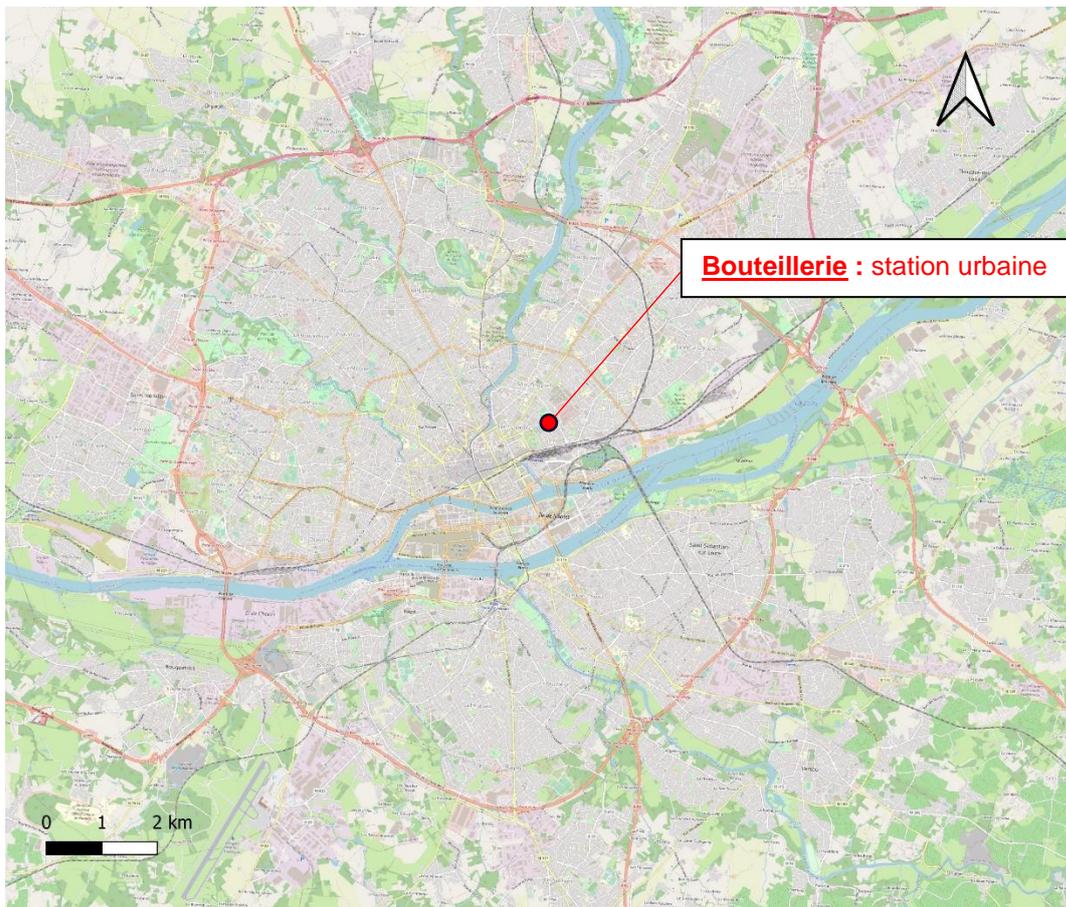


Figure 3 : emplacement de la station de Bouteillerie

Résultats

Le boxplot (cf. définition en annexe 1) avec et sans limite d'échelle des concentrations mesurées lors de la période d'étude est présenté ci-dessous.

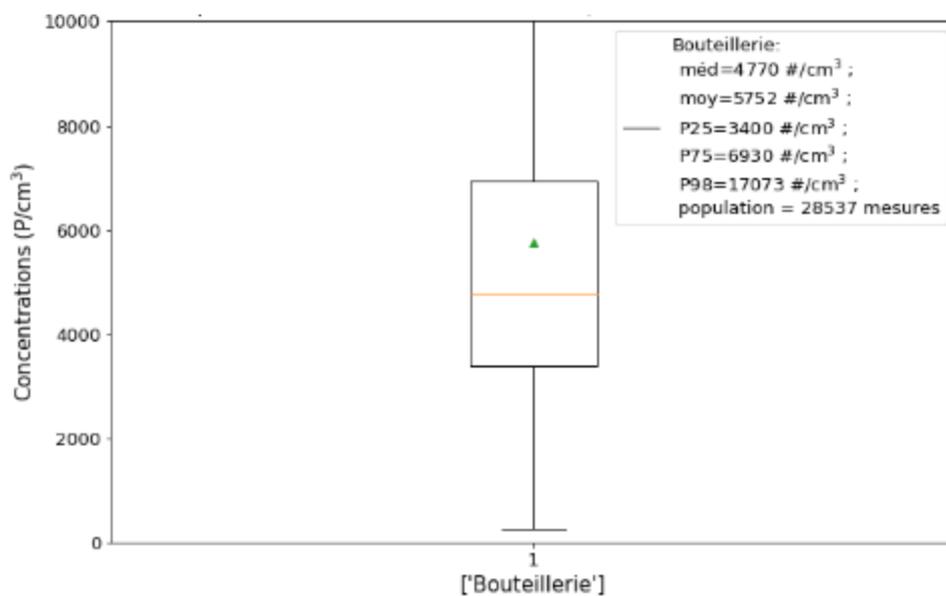


Figure 4 : boxplot des concentrations durant la période d'étude à la Bouteillerie, avec limite d'échelle

La moyenne des concentrations était de 5 750 P/cm³ tandis que la médiane était de 4 750 P/cm³.

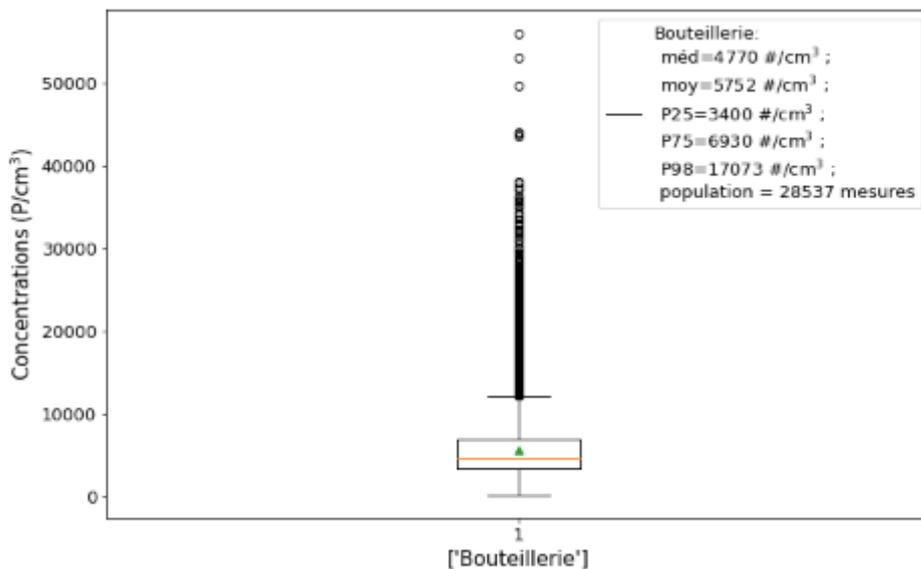


Figure 5 : boxplot des concentrations durant la période d'étude à la Bouteillerie, sans limite d'échelle

Afin de caractériser les concentrations mesurées durant la période d'étude, le profil journalier des concentrations a été tracé ci-dessous. Il s'agit de l'évolution des concentrations moyennées au sein de la journée.

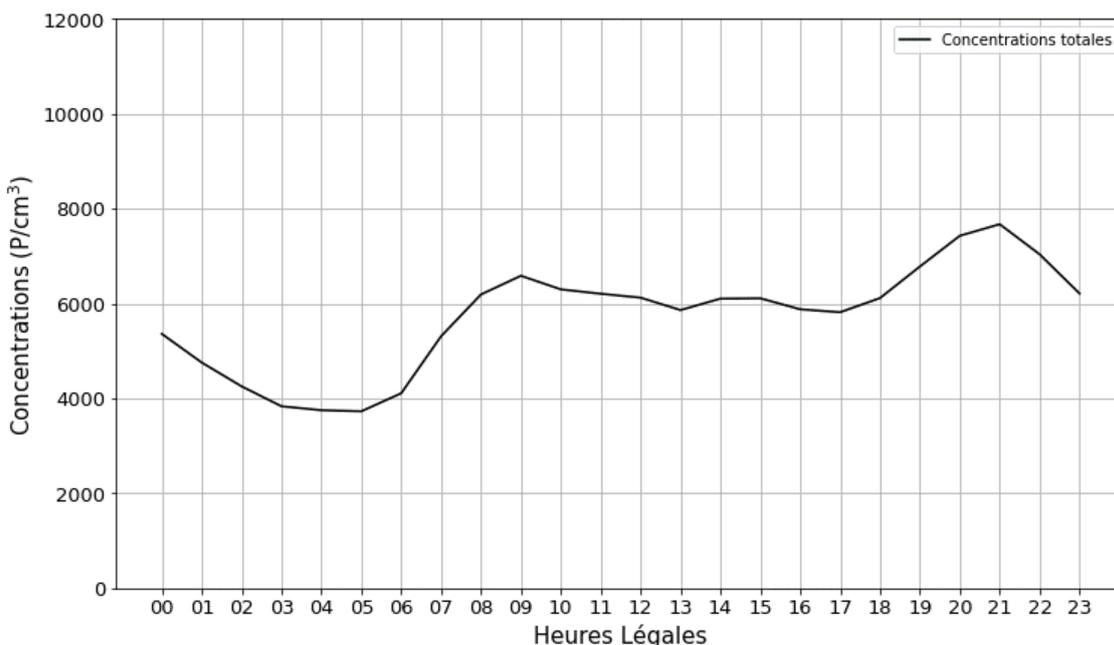


Figure 6 : profil journalier des concentrations à la Bouteillerie, sur l'ensemble de la période d'étude

On y retrouve des concentrations qui augmentent progressivement à partir de 5h pour atteindre un maximum de 6 600 P/cm³ vers 9h. Les concentrations fluctuent légèrement en journée et réaugmentent en soirée pour atteindre les 7 650 P/cm³ à 21h avant de redescendre progressivement dans la nuit.

Afin de mieux comprendre les variations saisonnières liées aux différentes sources d'émissions, le profil journalier précédent a été scindé en deux : un premier profil en période de chauffage (mars, novembre et décembre) ; un second profil hors période de chauffage (avril à septembre).

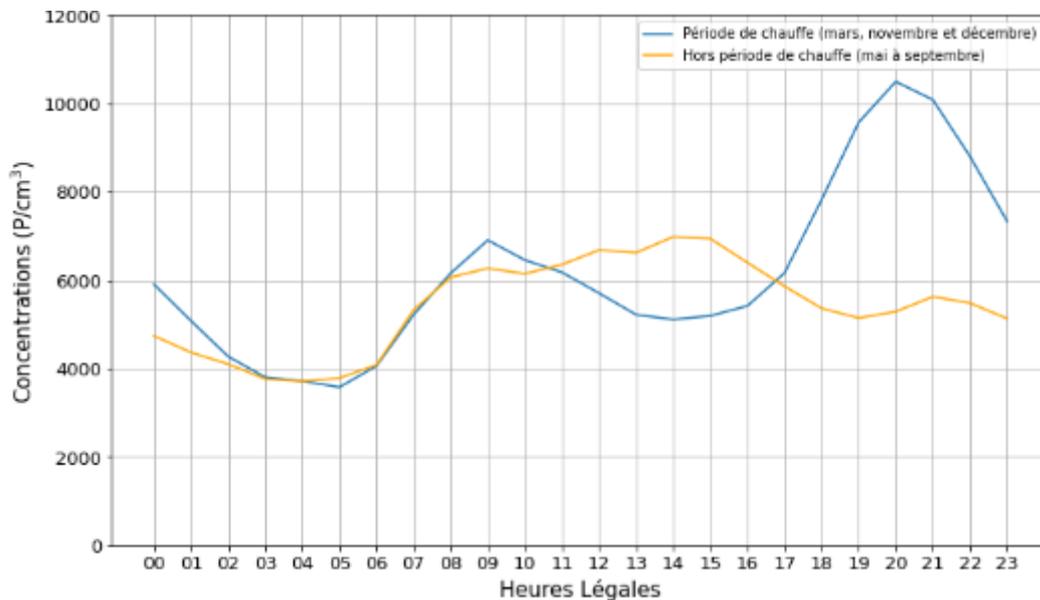


Figure 7 : profil journalier des concentrations en période de chauffe et hors période de chauffe à la Bouteillerie

Le profil en période de chauffage est caractérisé par deux pics de concentrations dans la journée. Un premier pic le matin à 8h-10h aux alentours de 6 500 P/cm³ et un second pic le soir qui atteint les 10 500 P/cm³ à 20h.

Le pic du matin serait provoqué par les émissions des trajets domicile-travail conjugué à des conditions météorologiques propices à l'accumulation des polluants au sol durant cette partie de la journée. Le pic du soir, caractérisé par des concentrations qui augmentent à partir de 17h, serait quant à lui provoqué par la superposition des émissions des trajets de retour du travail et également, de manière prépondérante, du chauffage. Comme l'indique la figure ci-contre, représentant le trafic cumulé dans le quartier St Donatien-Malakoff, le trafic routier lié aux trajets de retour du travail est essentiellement concentré entre 16h et 19h tandis que les émissions liées au chauffage arrivent plutôt en soirée.

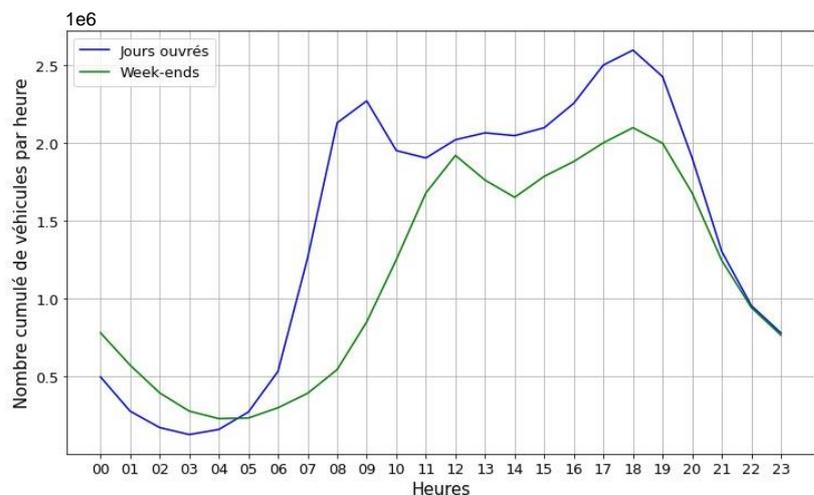


Figure 8 : évolution du trafic routier cumulé au sein de la journée, en jours ouvrés et le week-end au quartier St Donatien-Malakoff à Nantes

Hors période de chauffage, on observe une disparition du pic du soir. L'augmentation des concentrations reste présente le matin, en lien avec le trafic routier et les conditions météorologiques durant cette période de la journée.

Des concentrations plus élevées en fin de matinée et en journée sont observées. Ces concentrations plus élevées en journée, en période estivale, sont plutôt attribuées à la production d'aérosols secondaires par photochimie (réactions chimiques initiées par le rayonnement solaire et produisant de nouvelles particules) à partir du début d'après-midi. L'année 2022 a été favorable à la photochimie du fait de l'ensoleillement intense, notamment lors des différentes vagues de chaleur.

Conclusion

Les concentrations en nombre de particules ont été mesurées en milieu urbain à Nantes, au cimetière de la Bouteillerie du 02/03/2022 au 31/12/2022. Elles sont caractérisées par des concentrations moyennes atteignant les 5 750 P/cm³. Deux hausses des concentrations ont été observées dans le profil journalier des concentrations en période de chauffage, en lien avec le trafic routier et les conditions météorologiques pour le pic du matin et en lien avec le trafic routier et le chauffage le soir.

En période estivale, les concentrations sont caractérisées par des concentrations plus élevées en journée. L'hypothèse d'une production de particules ultrafines par photochimie peut être alors avancée.

L'ammoniac (NH₃)

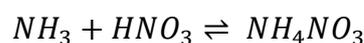
Contexte

L'ammoniac (NH₃) est un polluant non réglementé d'origine naturelle ou anthropique. Les émissions proviennent de la décomposition de matières azotées présentes dans le sol. Les émissions anthropiques sont très majoritairement dues aux activités agricoles (98 % des émissions régionales, selon l'inventaire des émissions BASEMIS réalisé annuellement par Air Pays de la Loire), essentiellement en lien avec les rejets organiques de l'élevage (épandages de lisier et de fumier) et l'utilisation d'engrais azotés. Les émissions issues des sources anthropiques sont nettement plus importantes que celles issues des sources naturelles.

L'ammoniac est odorant et incolore et est surveillé car sa présence dans l'atmosphère peut entraîner la formation de particules secondaires, essentiellement composées de nitrates d'ammonium. Selon l'ANSES, ces particules ont une forte probabilité d'altérer la santé cardiovasculaire et une probabilité moyenne d'accroître les risques de mortalité. De ce fait, de plus en plus d'études sont réalisées afin de déterminer comment réduire les émissions de NH₃, pour in fine réduire la formation de particules secondaires pouvant être responsables d'épisodes de pollution, au printemps notamment.

Formation des particules secondaires

L'ammoniac (NH₃) est un précurseur à la formation de particules secondaires, essentiellement du nitrate d'ammonium. Il réagit avec l'acide nitrique (HNO₃) pour former du nitrate d'ammonium particulaire (NH₄NO₃) selon la réaction suivante :



L'acide nitrique est quant à lui formé à partir de la réaction du dioxyde d'azote (NO₂) avec le radical hydroxyle (OH) :



La formation du nitrate d'ammonium particulaire se fait essentiellement à des températures comprises entre 8°C et 20°C et est favorisée par une humidité relative élevée.

La volatilisation de l'ammoniac est quant à elle favorisée par des températures élevées lors des épandages.

Valeurs de référence

L'ammoniac fait partie des polluants non réglementés dans l'air ambiant en France. Il peut cependant provoquer des gênes olfactives à partir de concentrations de l'ordre de 350 µg/m³. Il provoque des irritations des voies respiratoires et des yeux à de très fortes concentrations. L'ANSES a en effet validé trois valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour des expositions par inhalation et pour des effets respiratoires :

- 5 900 µg/m³ pour une exposition aiguë sur une durée de 24h ;
- 500 µg/m³ pour une exposition subchronique ;
- 500 µg/m³ pour une exposition chronique.

Dispositif de mesure

Sites de mesure

Les émissions d'ammoniac (NH_3) provenant essentiellement de l'agriculture, le suivi de ce polluant est réalisé sur la station rurale située sur la commune de La Tardière, en Vendée. Cette station fait partie du dispositif national de surveillance de la pollution de fond MERA³. Les mesures d'ammoniac ont débuté au 01/03/2022.



Figure 9 : station rurale de la Tardière



Figure 10 : localisation de la station de mesure de la Tardière

³ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-mera>

Résultats

La période d'étude considérée vis-à-vis des mesures de NH_3 de la Tardière s'étend du 01/03/2022 au 22/11/2022, l'analyseur ayant été mis en fonctionnement début mars 2022 et est tombé en panne à partir du 23/11/2022. La remise en fonctionnement a eu lieu début 2023.

La figure suivante présente l'évolution de ces concentrations sur cette période d'étude :

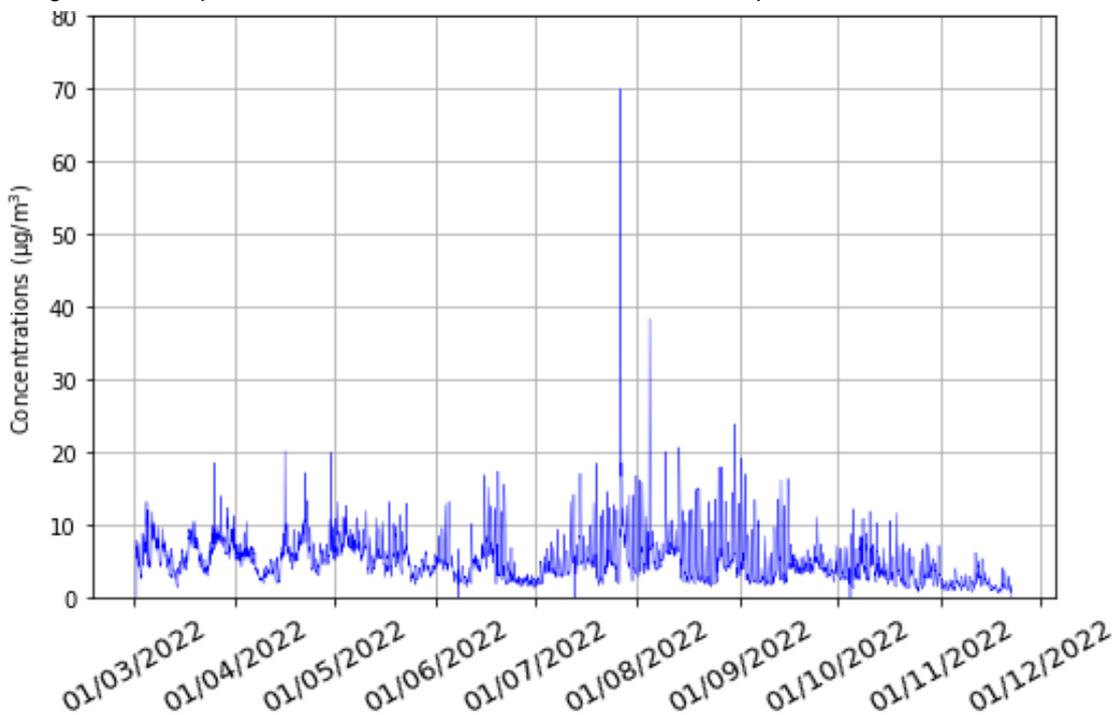


Figure 11 : évolution des concentrations horaires en ammoniac (NH_3) sur le site de la Tardière, du 01/03/2022 au 22/11/2022

L'évolution des concentrations horaires montre des niveaux généralement compris entre 2,5 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. On remarque cependant des hausses ponctuelles de concentrations au-delà de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (jusqu'à 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) particulièrement durant la période estivale, en lien avec les températures plus élevées durant cette période, favorisant la volatilisation de l'ammoniac. On peut également noter que les concentrations diminuent en fin de période d'étude du fait de l'arrêt des épandages et des températures plus faibles.

Les boxplots (définition en annexe 1) des concentrations (non-zoomé à gauche et zoomé à droite) sont présentés ci-dessous :

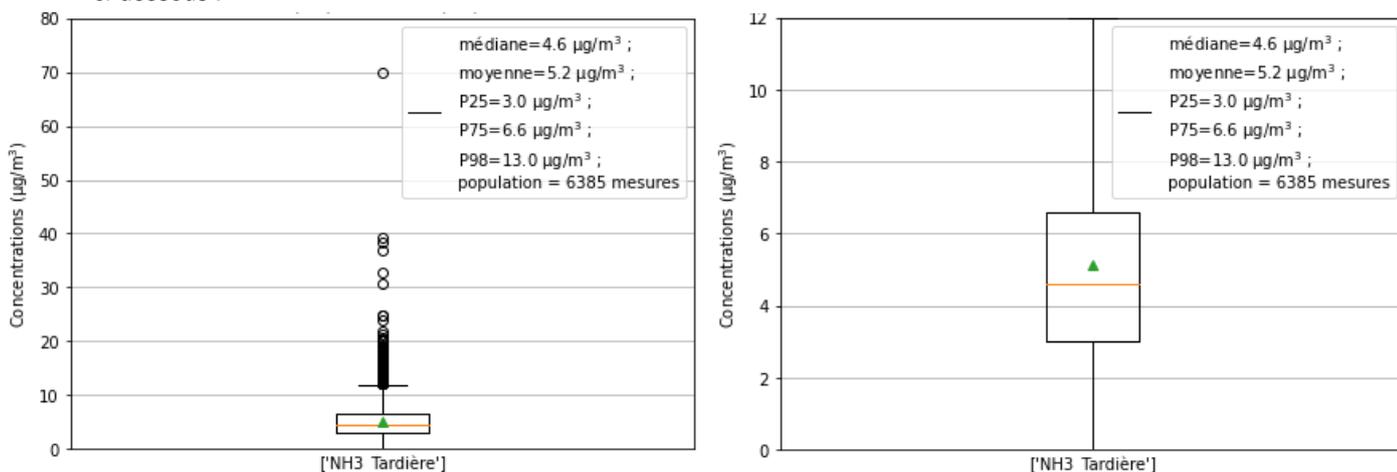


Figure 12 : boxplots des concentrations horaires d'ammoniac (NH_3) sur le site de la Tardière, du 01/03/2022 au 22/11/2022

La concentration moyenne mesurée sur l'ensemble de la période d'étude est de 5,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tandis que la médiane des concentrations, c'est-à-dire la valeur pour laquelle 50 % des mesures sont au-dessus et 50 % sont en dessous, est de 4,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 50 % des mesures sont comprises entre le percentile 25 (P25) et le percentile 75 (P75), à savoir entre 3 et 6,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

À titre de comparaison, les concentrations moyennes en NH_3 ont été calculées sur les stations rurales de Kergoff en Bretagne, de Oysonville en Centre-Val-de-Loire ainsi qu'à la Tardière durant la période de mesures commune de ces trois sites (de mai à octobre ; cf. figure suivante). On retrouve ainsi des concentrations moyennes comparables entre le site de Bretagne ($4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et des Pays de la Loire ($5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mais plus faibles en Centre-Val-de-Loire ($2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ces différences s'expliquent par des émissions annuelles d'ammoniac, en lien avec l'agriculture, de l'ordre de $5,6 \text{ tonnes}/\text{km}^2$ sur l'EPCI de Kergoff (Communauté de Communes de Loudeac Communauté) contre $4,9 \text{ tonnes}/\text{km}^2$ sur l'EPCI de Kergoff (Communauté de Communes Pays de la Châtaigneraie) et $1,2 \text{ tonnes}/\text{km}^2$ sur l'EPCI de Oysonville (Communauté de Communes Cœur de Beauce).

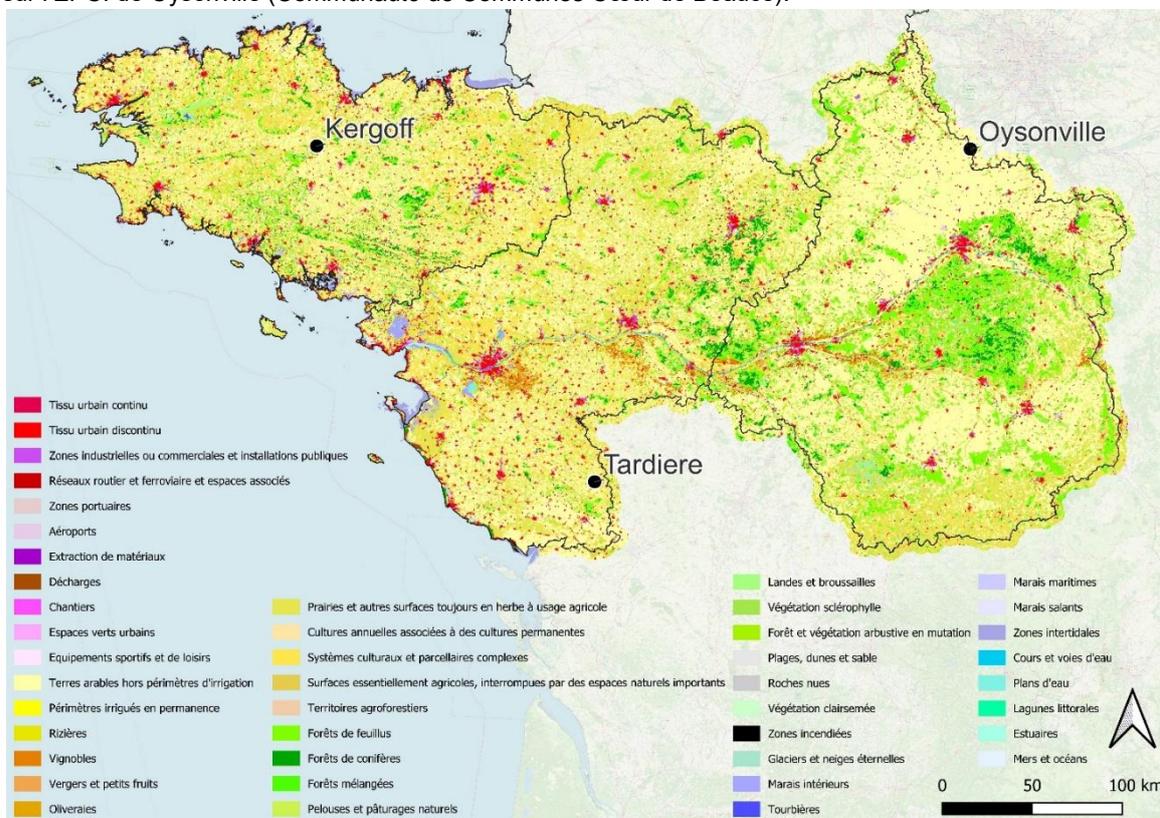


Figure 13 : carte des stations de mesure avec occupation des sols

Le profil journalier des concentrations en ammoniac a été tracé afin d'étudier l'évolution des concentrations au sein de la journée. Les températures moyennes ont également été tracées afin d'étudier la relation entre ces deux paramètres.

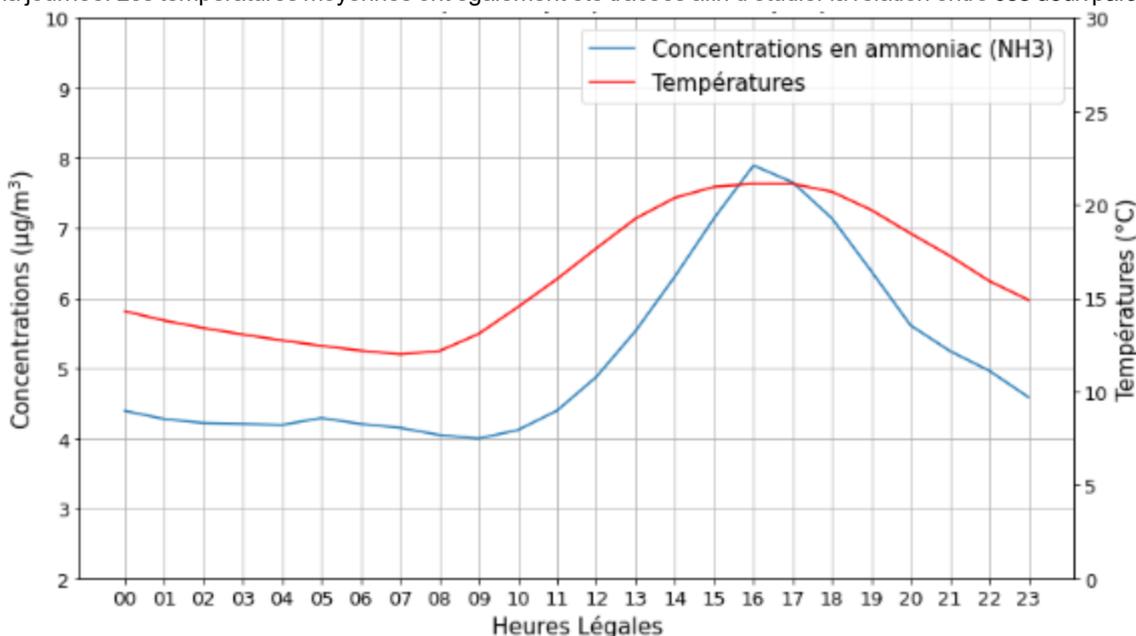


Figure 14 : profil journalier des concentrations d'ammoniac (NH_3) sur le site de la Tardière, du 01/03/2022 au 22/11/2022

La figure 14 montre des concentrations moyennes en NH_3 entre 4 et 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant la nuit. Elles augmentent progressivement à partir de 11h pour atteindre un pic d'environ 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 16h, avant de redescendre progressivement en fin de journée pour atteindre un niveau de fond à partir de 23h. On remarque une corrélation entre le profil des concentrations d'ammoniac et celui de la température, avec des évolutions qui se suivent.

L'évolution des moyennes mensuelles des concentrations à la Tardière a été tracée ci-dessous :

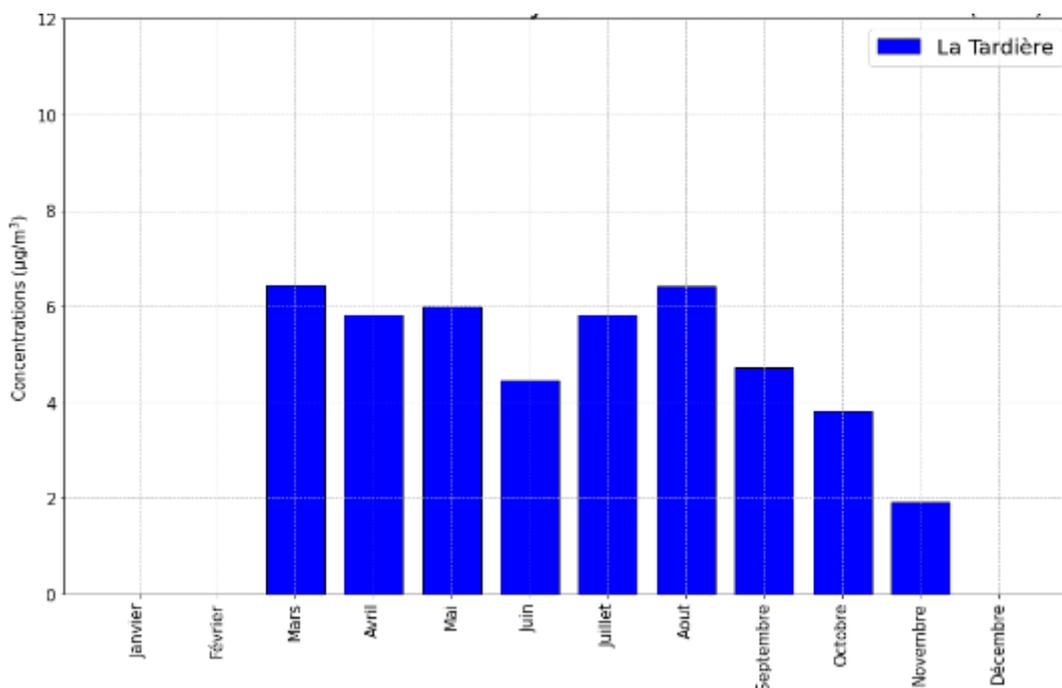


Figure 15 : évolution des concentrations moyennes mensuelles d'ammoniac (NH_3) à la Tardière

L'évolution des concentrations mensuelles montre des niveaux plus élevés au printemps et en été par rapport à la période automnale, en lien avec les périodes d'épandage.⁴

Conclusion

Les concentrations en ammoniac ont été mesurées en milieu rural en Vendée, à la station de la Tardière, du 01/03/2022 au 22/11/2022. Elles sont caractérisées par des concentrations moyennes de $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Une comparaison a été réalisée avec les données de Bretagne et de Centre-Val-de-Loire en période de mesures commune (mai à octobre). Celle-ci montre des niveaux moyens comparables en Bretagne et en Pays de la Loire (respectivement de $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mais plus faibles en Centre-Val-de-Loire (moyenne de $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en lien avec des activités agricoles moins intenses.

Une hausse des concentrations a été observée dans le profil journalier des concentrations, en lien avec l'augmentation des températures en journée. Au cours de l'année, ce sont durant les périodes printanières et estivales que l'on mesure les concentrations les plus élevées du fait des périodes d'épandage et des températures les plus élevées.

⁴ https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Pays_de_la_Loire/022_Inst-Pays-de-la-loire/RUBR-Agriculture-pdl/Calendrier_epandage_DN6_201807.pdf

Le carbone suie (BC)

Contexte

Le carbone suie est un polluant produit par les procédés de combustion de biomasse ou d'hydrocarbures. Il est présent dans l'atmosphère sous forme particulaire, généralement dans la fraction PM2.5. Ses sources sont notamment : les moteurs à combustion, le chauffage résidentiel au bois, les incendies de forêts et brûlage de déchets verts ainsi que les installations industrielles utilisant des procédés de combustion. Les particules de carbone suie peuvent par ailleurs être vecteurs d'autres composés issus de combustions incomplètes tels que des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou métaux, dont la nocivité est reconnue.

Une analyse du carbone suie a été menée sur l'année 2022 au cimetière de la Bouteillerie à Nantes. Cette analyse permet d'évaluer la contribution de la combustion d'hydrocarbures fossiles ainsi que la contribution de la combustion de biomasse aux concentrations de carbone suie. Une telle distinction peut permettre d'étudier l'origine de la pollution particulaire issue de processus de combustion.

Valeurs de référence

Le carbone suie fait partie des polluants non réglementés dans l'air ambiant en France. Il n'existe à ce jour aucune valeur de référence pour ce polluant.

Résultats

La période d'étude s'étend du 01/01/2022 au 22/12/2022. Une interruption des mesures a eu lieu entre le 26/09/2022 et le 21/11/2022 en raison d'une panne de l'analyseur.

L'évolution mensuelle de la fraction de carbone suie liée à la combustion de biomasse est présentée ci-dessous :

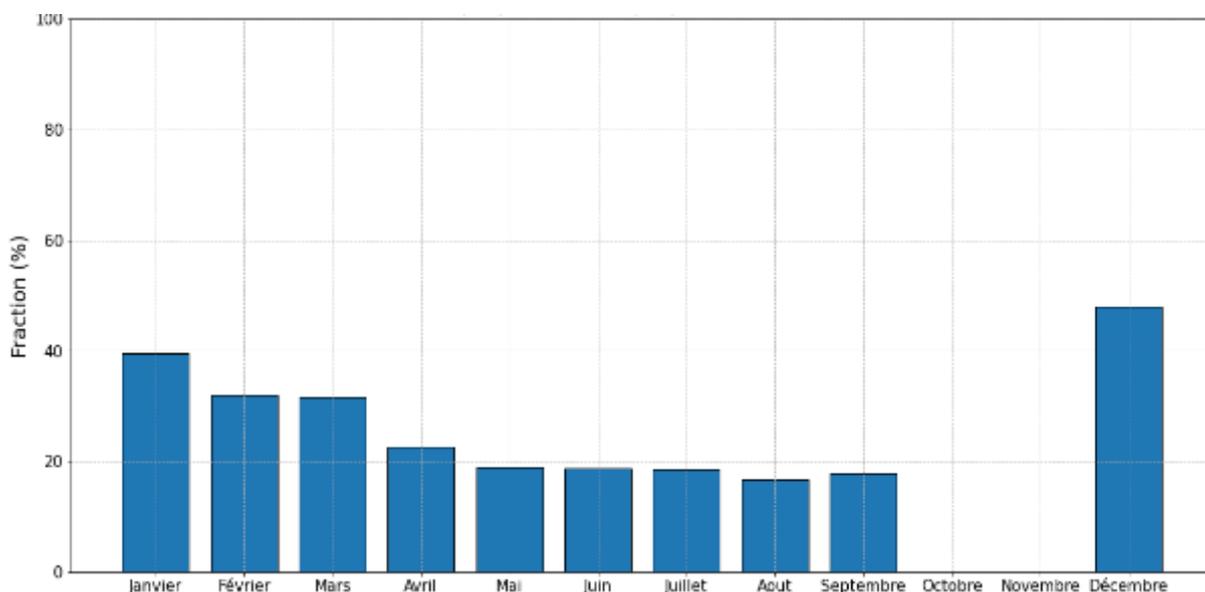


Figure 16 : évolution mensuelle de la fraction (%) de carbone suie liée à la combustion de biomasse au cimetière de la Bouteillerie

La figure 16 indique que la proportion de carbone suie liée à la combustion de biomasse est la plus élevée entre décembre et mars. Cette évolution peut s'expliquer par des émissions issues des équipements de chauffage domestique au bois peu efficaces (cheminées à foyer ouvert notamment).

Durant cette période, les moyennes mensuelles ont varié entre 30 % et 50 % de la fraction de carbone suie attribuable à la combustion de biomasse, tandis qu'elles ont varié entre 15 % et 20 % en dehors de la période de chauffe.

La figure suivante présente le profil journalier des concentrations en carbone suie liées à la combustion de biomasse en période de chauffe avec celui hors période de chauffe.

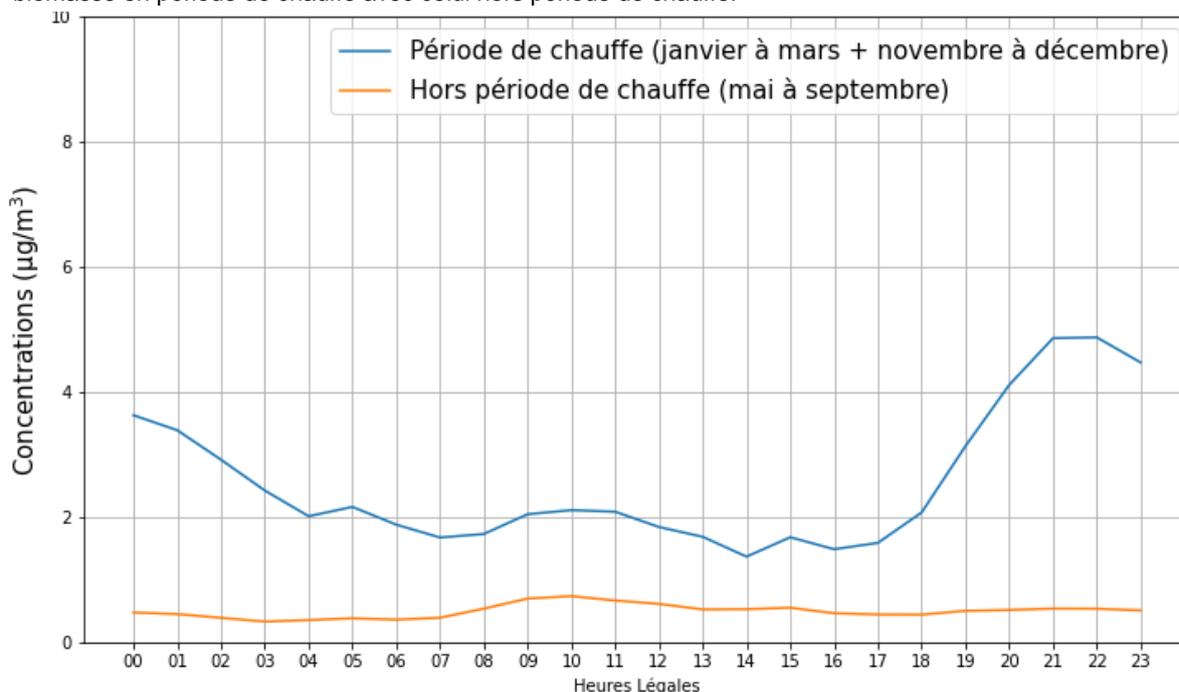


Figure 17 : profils journaliers des concentrations de carbone suie liées à la combustion de biomasse au cimetière de la Bouteillerie en période de chauffe et hors période de chauffe

Les concentrations moyennes hors période de chauffe sont stables, avec des valeurs variant entre 0,3 µg/m³ et 0,8 µg/m³. Durant la période de chauffe, les concentrations sont plus élevées, avec des valeurs comprises en moyenne entre 1,4 µg/m³ en début d'après-midi et 5 µg/m³. Un minimum est observé vers 7h, et une augmentation des concentrations le soir, à partir de 18h jusqu'à 22h, en lien avec les heures de chauffe dans la journée.

Concernant les concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures, elles sont stables tout au long de la journée sur les deux périodes considérées. Elles sont comprises 0,4 µg/m³ et 1 µg/m³ (cf. graphique suivant).

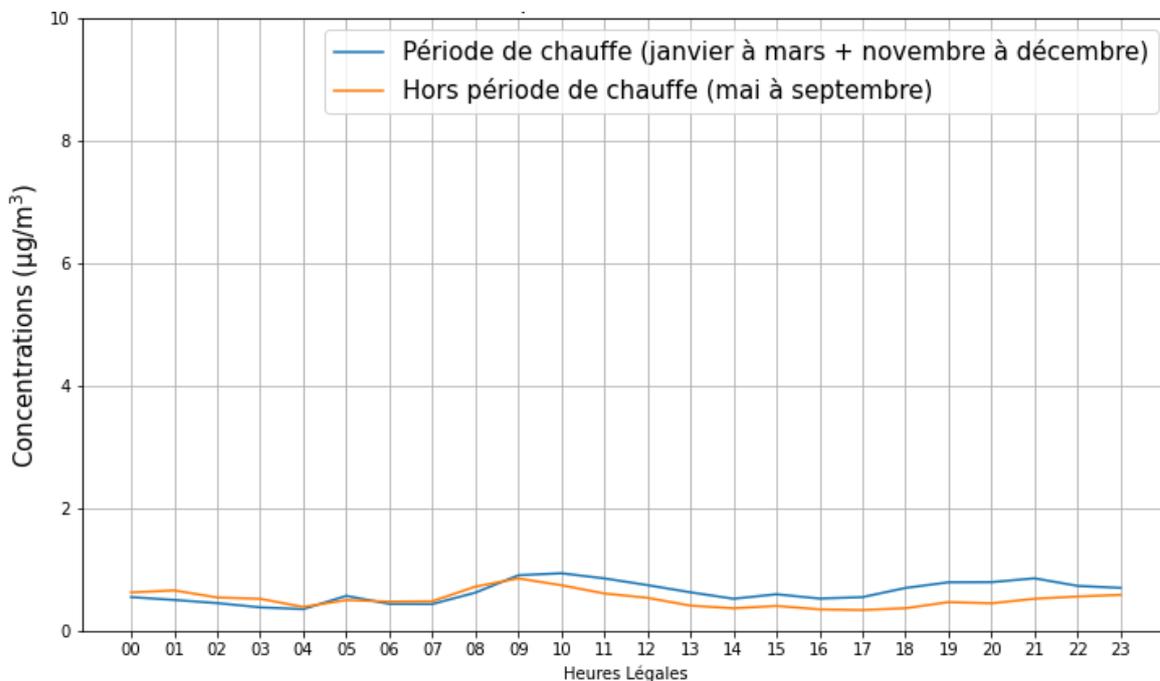


Figure 18 : profils journaliers des concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures au cimetière de la Bouteillerie en période de chauffe et hors période de chauffe

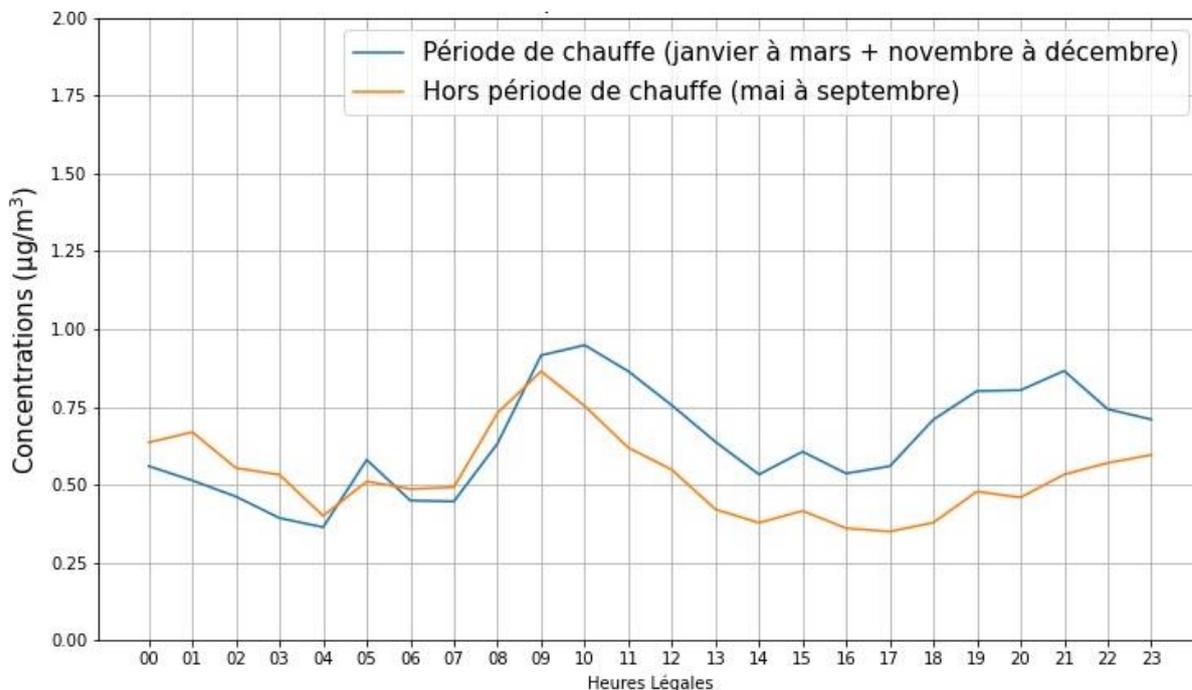


Figure 19 : zoom des profils journaliers des concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures au cimetière de la Bouteillerie en période de chauffe et hors période de chauffe

Lorsque l'on agrandit l'échelle, on remarque de faibles variations, de l'ordre de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en lien avec le trafic routier. On remarque des concentrations légèrement plus élevées durant la période de chauffe, en lien avec les conditions météorologiques plus propices à l'accumulation des polluants.

Les concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures semblent donc que peu influencées par la saison de chauffe, comme le suggère également l'évolution des concentrations mensuelles suivante :

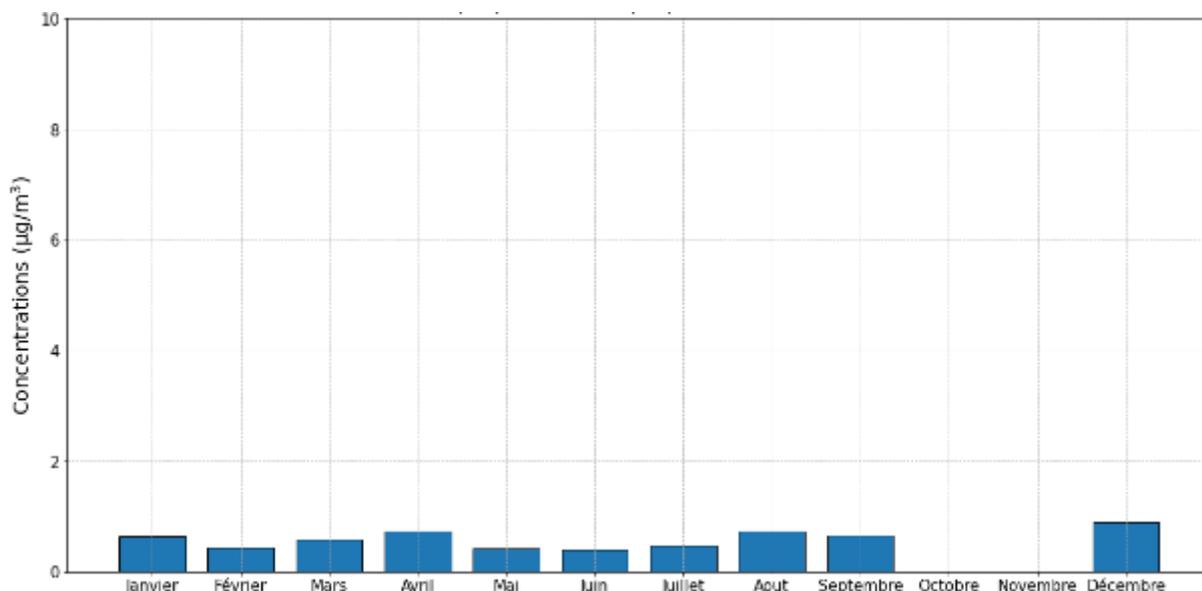


Figure 20 : évolution mensuelle des concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures au cimetière de la Bouteillerie en 2022

Conclusion

Les concentrations en carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures et à la biomasse ont été évaluées à la station de fond urbaine du cimetière de la Bouteillerie à Nantes durant l'année 2022.

Les concentrations liées à la combustion d'hydrocarbures sont stables dans la journée et durant l'année.

Les concentrations liées à la combustion de biomasse sont également stables hors saison de chauffe. En revanche durant la période de chauffage, les concentrations mesurées sont plus élevées, entre $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec les valeurs les plus élevées en fin de soirée. Ces concentrations s'expliquent par l'utilisation de chauffage domestique au bois, en particulier par les cheminées à foyer ouverts dont la combustion est peu efficace et favorise la formation de particules.

Hydrogène sulfuré (H₂S)

Contexte

Le sulfure d'hydrogène, ou hydrogène sulfuré, est un composé chimique de formule H₂S, constitué de soufre et d'hydrogène. C'est un gaz inflammable, incolore, à l'odeur d'œuf pourri et toxique lors d'exposition aigue (1 à 14 jours) à des concentrations supérieures à 100µg/m³.

Le sulfure d'hydrogène est naturellement présent dans le pétrole, le gaz naturel, les gaz volcaniques et les sources chaudes. Le sulfure d'hydrogène est également produit par de nombreuses industries, par exemple dans la transformation des produits alimentaires, le traitement des eaux usées, les hauts fourneaux, la papeterie, la tannerie, le raffinage du pétrole.

Les échouages massifs d'algues ont également tendance à produire du sulfure d'hydrogène en lien avec des processus de fermentation anaérobie qui se produisent au sein des amas d'algues échoués sur les plages. Ces phénomènes sont particulièrement importants sur certaines plages de Bretagne, de Martinique et de Guadeloupe (échouage d'algues brunes sargasses).

Valeurs de référence pour H₂S

L'hydrogène sulfuré fait partie des polluants non réglementés dans l'air ambiant en France. Toutefois, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a émis des recommandations concernant les concentrations de ce polluant dans l'air ambiant.

- Valeur guide pour ne pas générer de gênes olfactives : 7 µg/m³ sur une demi-heure ;
- Valeur d'exposition ponctuelle pour l'absence d'effet sur la santé : 150 µg/m³ sur 24 heures.

Par ailleurs différents organismes⁵ ont fixé des valeurs toxicologiques de référence listées dans le tableau suivant.

Source	Mode d'exposition	Valeur de référence
US – EPA (2003)	Inhalation (chronique)	Rfc* = 2 µg/m ³
ASTDR* (2006)	Inhalation (aiguë)	MRL* = 100 µg/m ³
	Inhalation (sub-chronique)	MRL* = 30 µg/m ³
OEHHA*	Inhalation (aiguë)	REL* = 42 µg/m ³
	Inhalation (chronique)	REL* = 10 µg/m ³

RfC (US-EPA) : Inhalation Reference Concentration

Concentration estimée à laquelle aucun effet néfaste sur la santé, non cancérigène, n'est susceptible d'apparaître pour une exposition continue des populations, y compris les plus sensibles, par inhalation, pendant une vie entière.

MRL (ATSDR) : Minimal Risk Level

Concentration d'exposition au-dessous de laquelle aucun effet néfaste sur la santé, non cancérigène, n'est susceptible d'apparaître pour une durée spécifique d'exposition [aiguë (1 à 14 j) - subchronique (15 à 364 j) - chronique (+ 365 j)].

REL : Reference Exposure Level

Concentration atmosphérique maximale d'une substance à laquelle (ou en dessous de laquelle) aucun effet adverse n'est attendu, pour une période d'exposition d'une heure.

En Pays de la Loire, les échouages massifs d'algues à l'origine d'émissions d'H₂S sont rares. De ce fait, il n'est pas prévu une surveillance continue de ce polluant sur les côtes ligériennes ; un dispositif de mesures ponctuelles peut être déployé en cas de besoin. En revanche, une surveillance des niveaux en H₂S dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies à Donges est opérationnelle depuis octobre 2011.

⁵ US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) : Agence de protection de l'environnement des États-Unis. Elle élabore et fait respecter la réglementation sur l'environnement, gère les allocations budgétaires qui appuient les programmes environnementaux, effectue la recherche relative aux questions environnementales et en informe le public américain.

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), basé à Atlanta, Georgia, est un organisme fédéral de l'agence sanitaire de l' U.S. Department of Health and Human Services.

OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment Canada

Surveillance de H₂S dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies à Donges

Suite à un incident technique survenu dans la raffinerie le 26 octobre 2011 provoquant des émissions de H₂S dans l'air⁶ au niveau d'un bac de stockage, Air Pays de la Loire a mis en œuvre le 27 octobre 2011 sur le site permanent rue Pasteur à Donges, des mesures automatiques d'Hydrogène Sulfuré (H₂S).

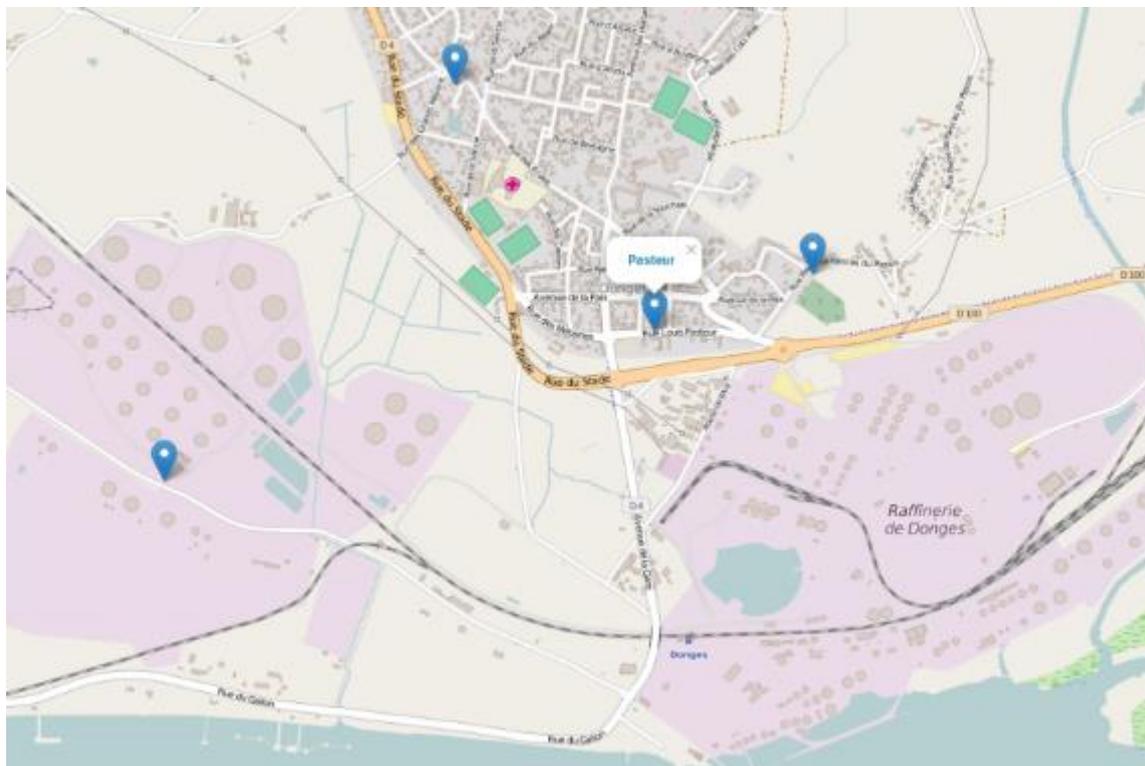


Figure 21 : localisation de la station permanente rue Pasteur à Donges

Le tableau suivant résume les niveaux de pollution en H₂S mesurés rue Pasteur à Donges dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies en 2022.

	Pasteur
Moyenne sur la période d'étude	0,32 µg/m ³
Moyenne quart-horaire maximale	7,6 µg/m ³
Moyenne demi-horaire maximale	7,6 µg/m ³
Taux de demi-heures supérieures à 7 µg/m ³	0,003 %
Moyenne horaire maximale	4,1 µg/m ³
Moyenne journalière maximale	1,1 µg/m ³

Les niveaux moyens de H₂S enregistrés rue Pasteur respectent les valeurs toxicologiques. La valeur guide de l'OMS relative à la gêne olfactive (7 µg/m³ en moyenne sur ½ heure) a été dépassée à une seule reprise (soit 0,003 % de l'année).

⁶ https://saint-nazaire.maville.com/actu/actudet_emanations-de-gaz-ce-matin-a-la-raffinerie-de-donges_46014-2024239_actu.Htm
<https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/41161/>

Les roses de pollution calculées sur le site de Pasteur montrent une influence des émissions de la partie centrale de la raffinerie par vent de sud-est sur les teneurs atmosphériques mesurées entraînant une augmentation sporadique des concentrations (cf. figures ci-dessous).

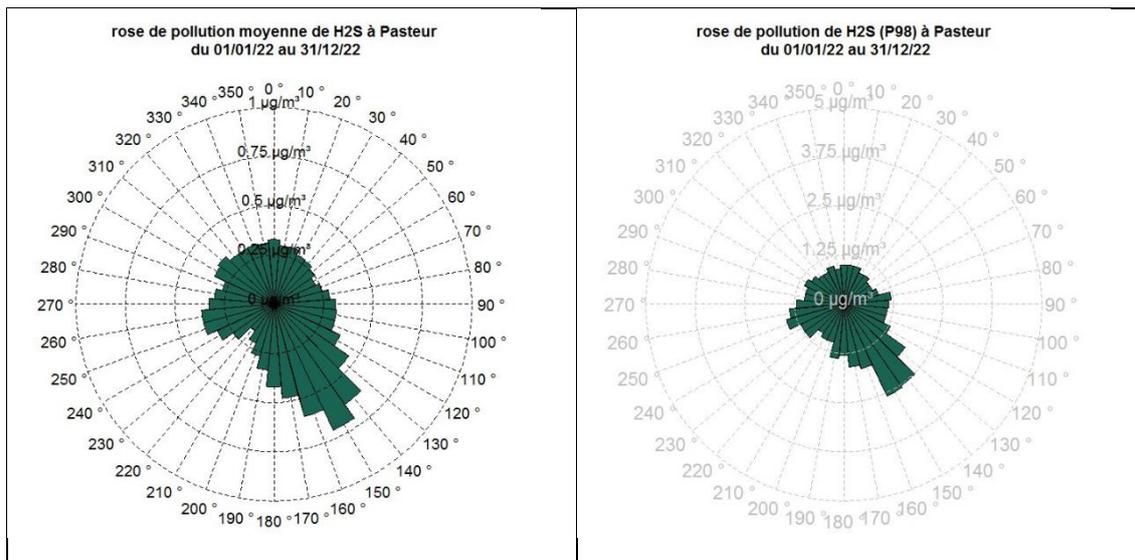


Figure 22 : roses de pollution calculées pour les concentrations moyennes et de pointes (percentile 98) en H₂S mesurées rue Pasteur à Donges

Surveillance de H₂S en zone côtière

Compte tenu du caractère non systématique des échouages d'algues à l'origine des émissions d'H₂S en Pays de la Loire, la mise en place d'un dispositif de surveillance léger basé sur des campagnes de mesure est envisagée. Vu que ces phénomènes d'échouages ne sont pas fréquents sur les côtes ligériennes et normandes, des campagnes ponctuelles seront réalisées lors d'échouages massifs : mise en œuvre de mesures d'H₂S via des minicapteurs style Cairpol complétés par des appareils portatifs (capteur Dräger Xam 5000).

Perspectives

Cette présente note fait état des premières mesures de PUF, de carbone suie ainsi que d'ammoniac (NH₃) et dont la surveillance de ces polluants a été pérennisée en 2022. Ces résultats seront approfondis dans les années à venir, avec l'accumulation de données sur plusieurs années. Des comparaisons plus poussées pourront par ailleurs être effectuées à partir des mesures enregistrées dans les régions voisines. Des mesures complémentaires de PUF seront effectuées en 2023 grâce à l'acquisition d'un nouvel appareil.

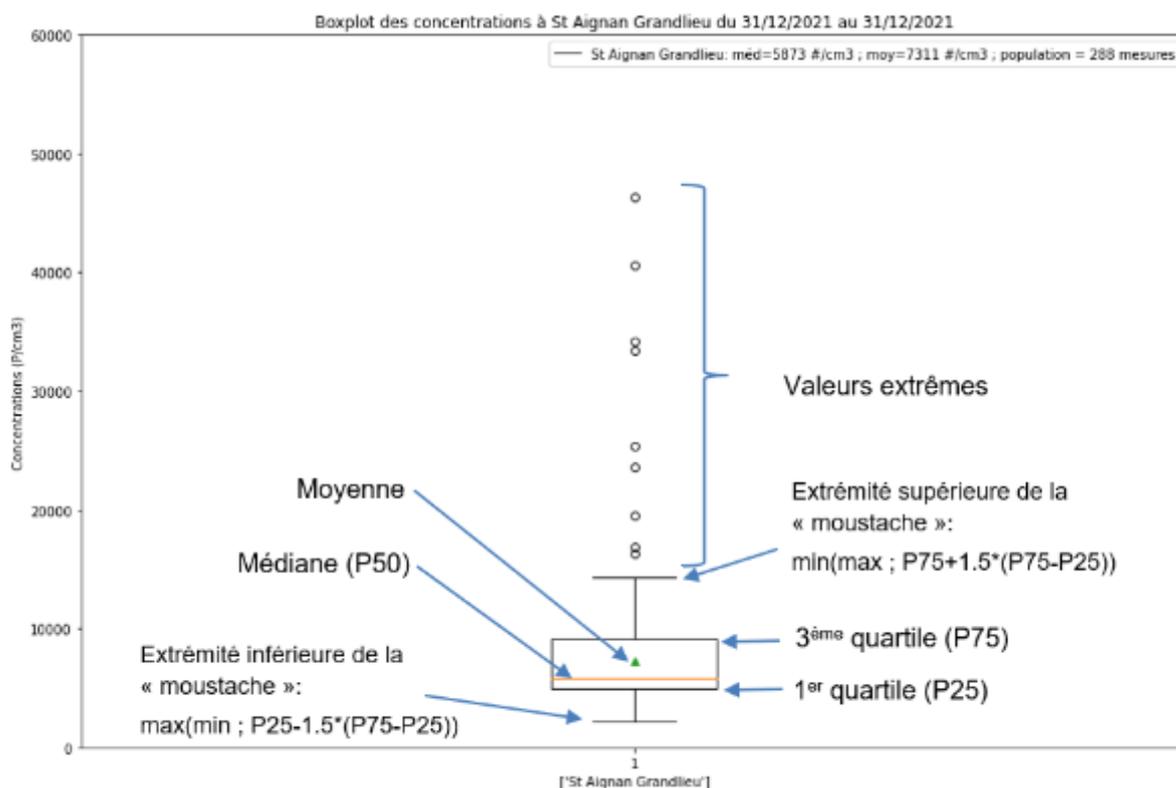
Annexes

- annexe 1 : définition d'un boxplot
- annexe 2 : Air Pays de la Loire

Annexes

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 : Air Pays de la Loire

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

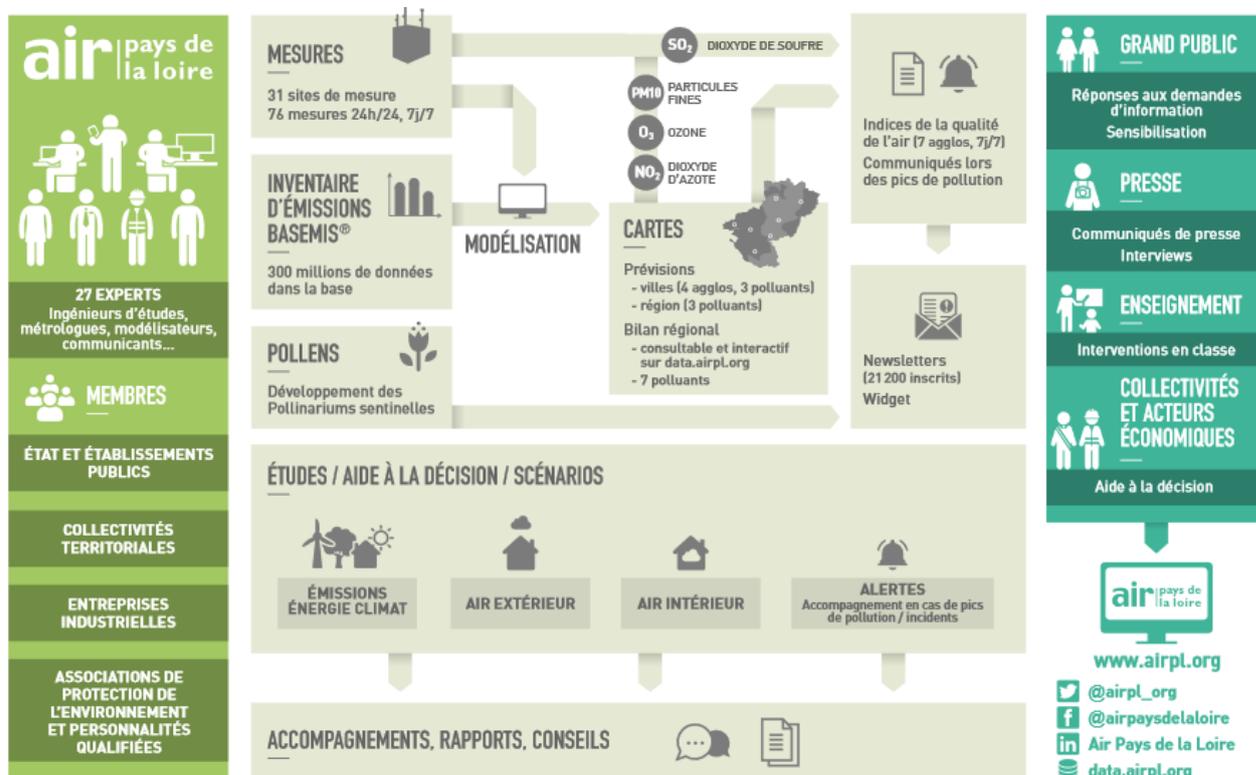
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

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

Ses domaines d'expertise portent sur :

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

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



Glossaire

RfC (US-EPA) : Inhalation Reference Concentration

Concentration estimée à laquelle aucun effet néfaste sur la santé, non cancérigène, n'est susceptible d'apparaître pour une exposition continue des populations, y compris les plus sensibles, par inhalation, pendant une vie entière.

MRL (ATSDR) : Minimal Risk Level

Concentration d'exposition au dessous de laquelle aucun effet néfaste sur la santé, non cancérigène, n'est susceptible d'apparaître pour une durée spécifique d'exposition [aiguë (1 à 14 j) - subchronique (15 à 364 j) - chronique (+ 365 j)].

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry , The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), basé à Atlanta, Georgia, est un organisme fédéral de l'agence sanitaire de l' U.S. Department of Health and Human Services.

OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment Canada

REL : Reference Exposure Level

Concentration atmosphérique maximale d'une substance à laquelle (ou en dessous de laquelle) aucun effet adverse n'est attendu, pour une période d'exposition d'une heure.

VLE : Valeur Limite d'exposition à court terme

Valeur plafond qui ne doit pas être dépassée, mesurée sur une durée maximale de 15 minutes.

VME : Valeur moyenne d'exposition

Valeur mesurée sur 8 heures, destinée à protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme.



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