



POLLUANTS D'INTERÊT NATIONAL

Évaluation des concentrations en ammoniac (NH_3), particules ultrafines (PUF), carbone suie (BC) et en hydrogène sulfuré (H_2S) en 2023

Septembre 2024



air pays de
la loire
www.airpl.org

Sommaire

Synthèse	3
Introduction	4
Particules ultrafines (PUF)	5
Valeurs de référence	5
Dispositif de mesure.....	5
Principe de mesure.....	5
Site de mesure.....	6
Résultats.....	7
Conclusion	9
L'ammoniac (NH₃)	10
Formation des particules secondaires.....	10
Valeurs de référence	10
Dispositif de mesure.....	11
Sites de mesure	11
Résultats.....	12
Conclusion	14
Le carbone suie (BC)	15
Contexte	15
Valeurs de référence	15
Résultats.....	15
Conclusion	17
Hydrogène sulfuré (H₂S)	18
Contexte	18
Valeurs de référence pour H ₂ S	18
Surveillance de H ₂ S dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies à Donges	19
Surveillance de H ₂ S en zone côtière	20
Annexes	21

Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : François Ducroz, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : équipe métrologie, Validation : Vincent Chevalier

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 en nombre de particules ont été mesurées en milieu urbain à Nantes, au cimetière de la Bouteillerie depuis mars 2022. Elles sont caractérisées par des concentrations moyennes très proches en 2022 et 2023 et comparables à celles enregistrées sur le site urbain de la Chauvinière à Nantes¹. La concentration moyenne (5356 part/cm³) reste deux fois plus faible que celle enregistrée sur le site de trafic boulevard des Frères de Goncourt à Nantes².

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 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 avancée³.

Le carbone suie (BC)

Les concentrations liées à la combustion d'hydrocarbures sont stables dans la journée et durant l'année et sont comprises entre 0.5 et 1.6 µg/m³

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 µg/m³ et 5 µg/m³, 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.

L'ammoniac (NH₃)

Les concentrations en ammoniac sont mesurées en milieu rural en Vendée, à la station de la Tardière, depuis mars 2022. En 2022, les concentrations moyenne (5.1 µg/m³) et médiane (4.6 µg/m³) en 2022 sont plus élevées que celles enregistrées en 2023 (moyenne de 4 µg/m³ ; médiane de 3.7 µg/m³). Les conditions météorologiques au printemps et l'été 2022 ont été plus propices aux émissions d'ammoniac dans l'air avec des températures atmosphériques plus élevées et des précipitations plus faibles.

Au cours de l'année, ce sont durant les périodes printanière et estivale que l'on mesure les concentrations les plus élevées du fait des périodes d'épandage et des températures plus élevées.

Les concentrations moyennes et médianes sont comparables en Bretagne et en Pays de la Loire mais plus faibles en Centre-Val-de-Loire en lien avec des activités agricoles émettrices d'ammoniac moins intenses.

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 n'ont pas dépassées le seuil olfactif de l'OMS (7 µg/m³ en moyenne sur une ½ heure) en 2023 et à une seule reprise en 2022.

¹ Air Pays de la Loire : Évaluation des concentrations en particules ultrafines dans les environs de l'aéroport de Nantes-Atlantique, juin 2021 – décembre 2021

² <https://www.airpl.org/rapport/evaluation-des-concentrations-en-particules-ultrafines-dans-les-environs-de-l-aeroport-de-nantes-atlantique-campagne-juillet-2022-juillet-2023>

³ Réactions chimiques initiées par le rayonnement solaire et responsables de la formation de certains polluants.

Introduction

Pour donner 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 2018 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 forts⁴. 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 note a pour but de faire l'état des lieux pour les années 2022 et 2023 des concentrations typiques que l'on retrouve en milieu de fond urbain à Nantes 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. Il fait suite à une première note faisant le bilan pour l'année 2022⁵.

⁴ <https://www.anses.fr/system/files/AIR2015SA0216Ra.pdf>

⁵ https://www.airpl.org/sites/default/files/reports/Airpl_Note%20polluants%20émergents%202022-%20f.pdf

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 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 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 Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air 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 européenne⁶.

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.

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.

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

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.

⁶ Bilan des niveaux de concentrations particulières en nombre au sein du dispositif nationale en comparaison à l'échelle européenne, LCSQA, décembre 2021

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'azote (NO, 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) et le mercure gazeux. Elle mesure également les concentrations particulaires en PUF depuis l'installation du CPC début mars 2022.



Figure 2 : photo de la station de Bouteillerie

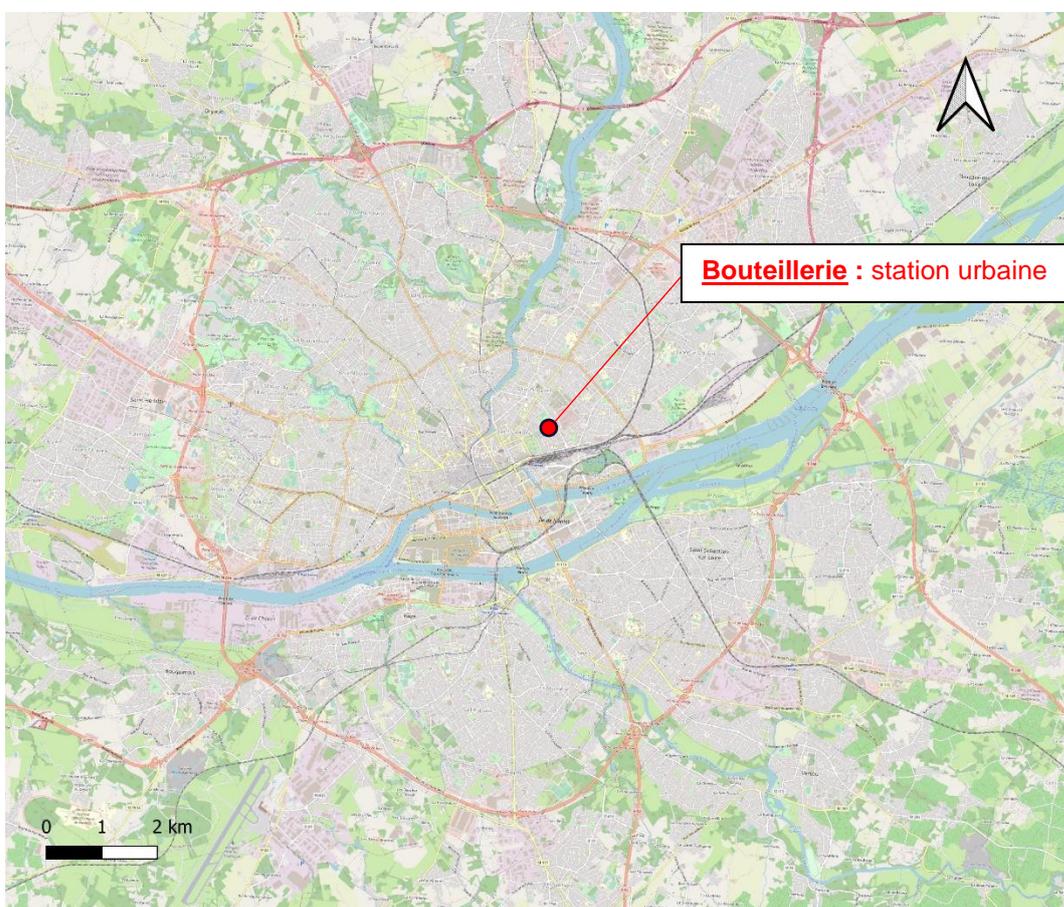


Figure 3 : emplacement de la station de Bouteillerie

Résultats

Les boxplots (cf. définition en annexe 1) des concentrations horaires mesurées respectivement en 2022 (de mars à novembre) et en 2023 durant la même période sont présentés ci-dessous.

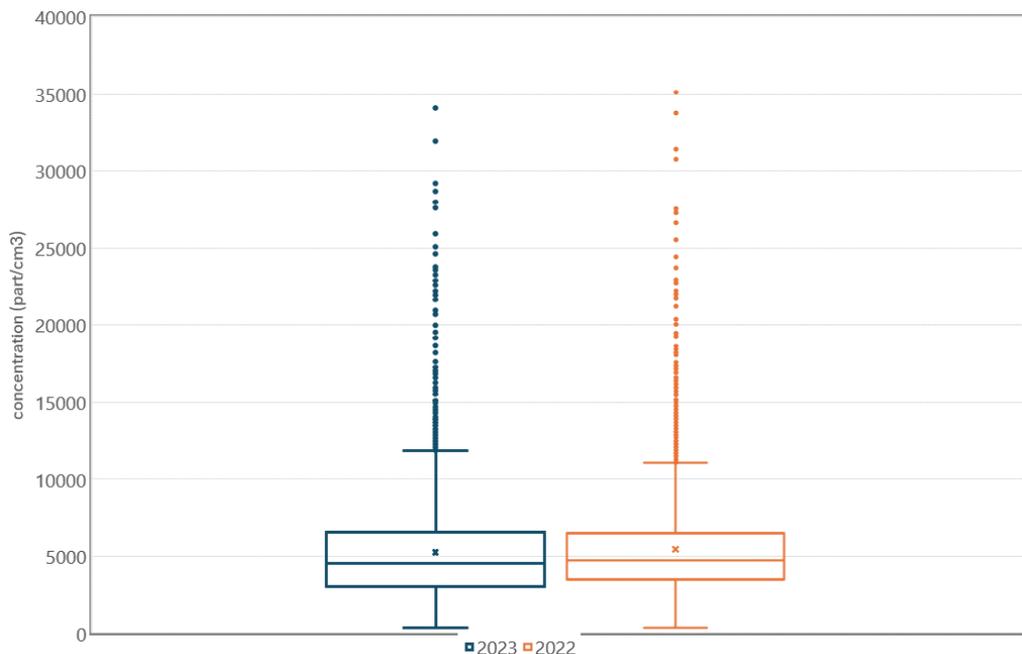


Figure 4 : boxplot des concentrations horaires de mars à novembre en 2022 et 2023 à la Bouteillerie

Les niveaux de pollution par les PUF en 2022 et 2023 sont très proches avec une pollution moyenne respectivement de 5258 part/cm³ en 2023 et 5455 part/cm³ en 2022. Les niveaux médians sont également très proches (4530 part/cm³ en 2023 et 4730 part/cm³ en 2022). Il est de même pour les maximums horaires qui atteignent respectivement 34 110 part/cm³ en 2023 et 35 110 part/cm³ en 2022.

Ces niveaux moyens sont comparables à ceux mesurés sur le site urbain de la Chauvinière (moyenne de 5 680 part/cm³) et deux fois plus faibles que la concentration moyenne (13 309 part/cm³) enregistrée sur le site de trafic des Frères de Goncourt à Nantes ⁷

Le graphique suivant représente l'évolution au sein de la journée des concentrations horaires en PUF.

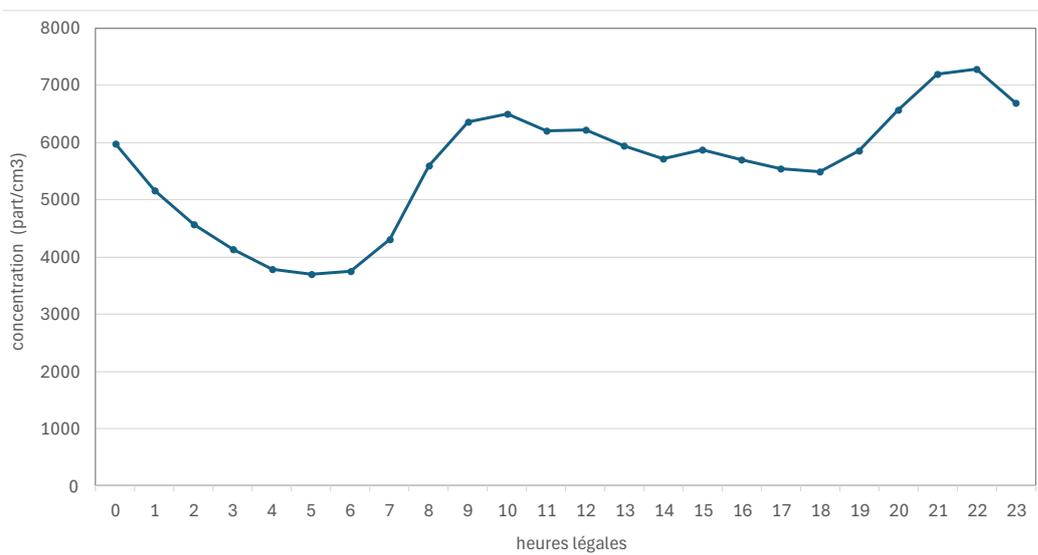


Figure 5 : profil journalier des concentrations à la Bouteillerie (mars 2022 à décembre 2023)

On y retrouve des concentrations qui augmentent progressivement à partir de 5h pour atteindre un maximum de 6 500 P/cm³ vers 10h. Les concentrations fluctuent légèrement en journée et réaugmentent en soirée pour atteindre les 7 300 P/cm³ à 22h avant de redescendre progressivement dans la nuit.

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

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 (janvier à mars, novembre et décembre) ; un second profil hors période de chauffage (mai à septembre).

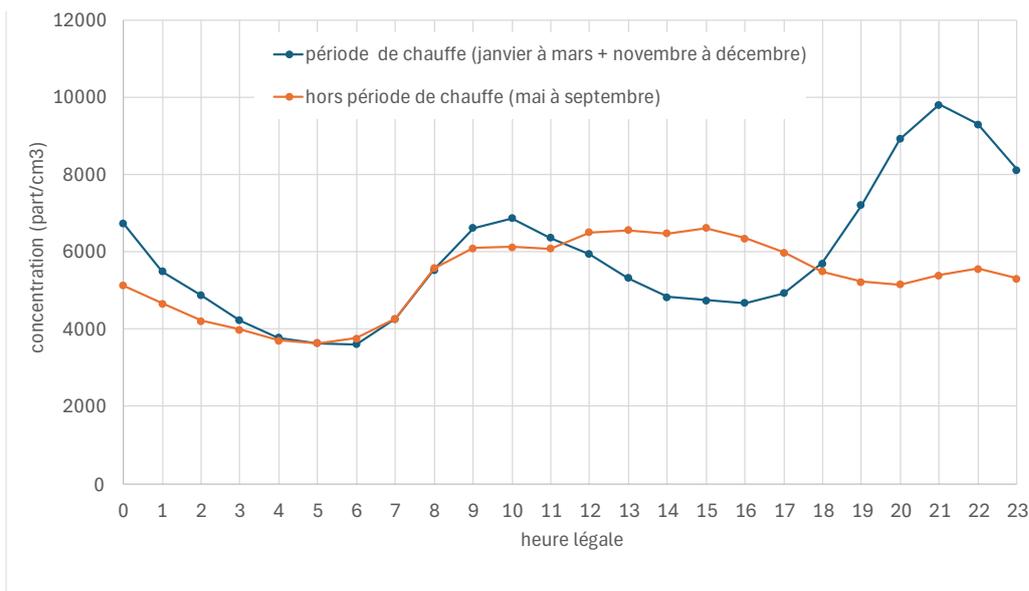


Figure 6 : profil journalier des concentrations horaires en période de chauffe et hors période de chauffe sur le site de la Bouteillerie

Le profil en période de chauffage est caractérisé par deux pics de concentrations dans la journée. Un premier pic le matin le 9h-10h aux alentours de 6 700 P/cm³ et un second pic le soir qui atteint les 9 800 P/cm³ à 21h.

Le pic du matin serait provoqué par les émissions des trajets domicile-travail conjuguées 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.

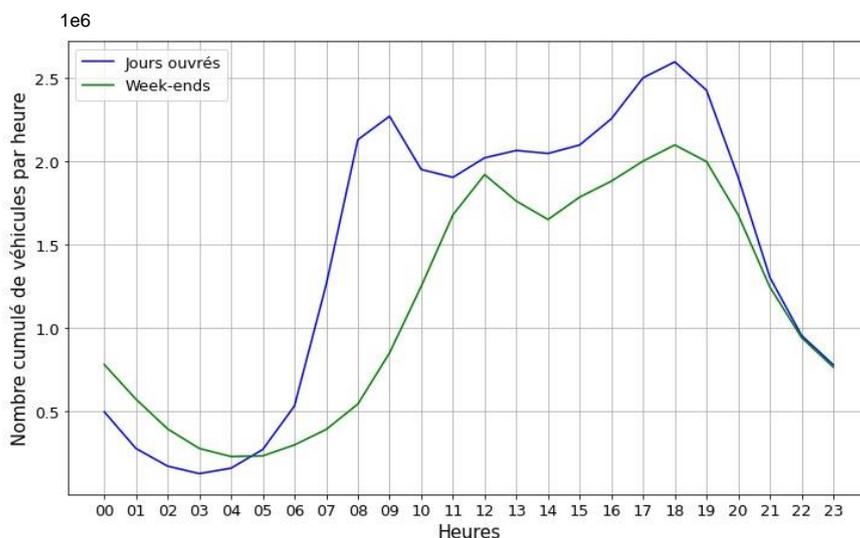


Figure 7 : évolution du trafic routier cumulé au sein de la journée, en jours ouvrés et le week-end au quartier St Donatien-Malakoff à Nantes

Cette évolution a été également observée sur le site urbain de la Chauvinière à Nantes dans le cadre de l'étude relative à l'impact du trafic aérien sur les concentrations en PUF. La métrologie mise en œuvre dans cette étude⁸ a permis de montrer que les particules présentes en soirée sont de plus grosses tailles (centrées sur 60 nm) que celles enregistrées durant le pic du matin (centrées sur 20 nm).

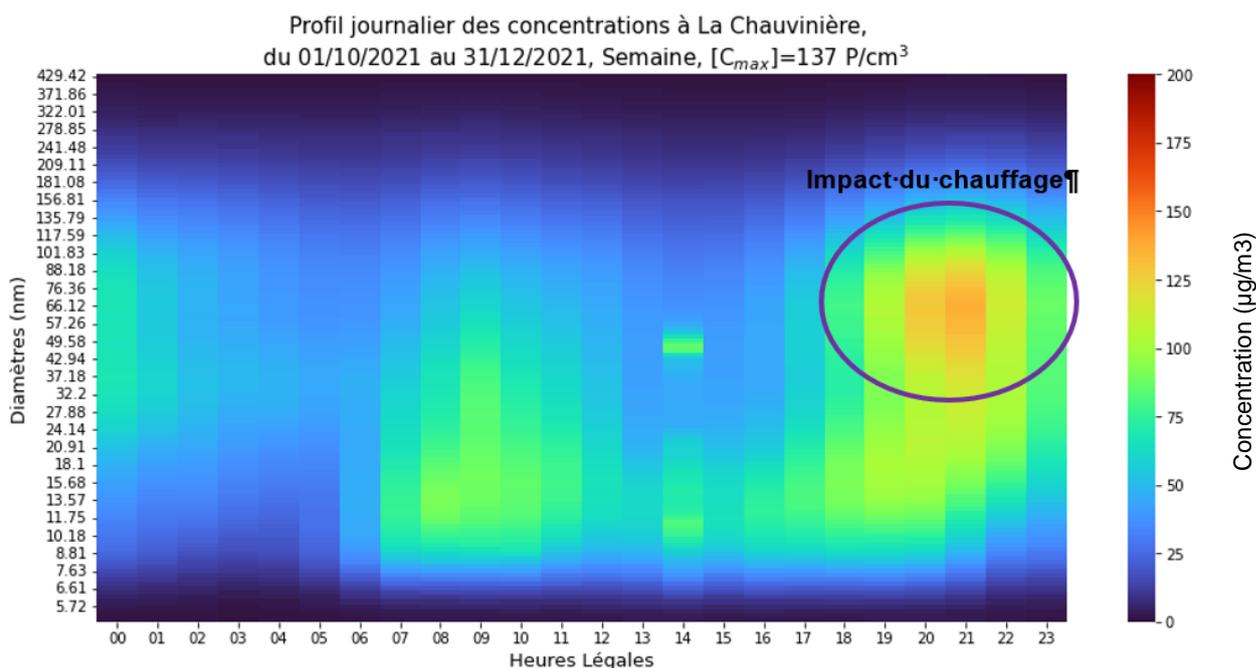


Figure 8 : profil journalier 2D moyen des concentrations à La Chauvinière, en période de chauffage (source Air Pays de la Loire : Évaluation des concentrations en particules ultrafines dans les environs de l'aéroport de Nantes-Atlantique, juin 2021 – décembre 2021)

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-midi⁹.

Conclusion

Les concentrations en nombre de particules ont été mesurées en milieu urbain à Nantes, au cimetière de la Bouteillerie depuis mars 2022. Elles sont caractérisées par des concentrations moyennes très proches en 2022 et 2023. 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.

⁸ <https://www.airpl.org/rapport/evaluation-des-concentrations-en-particules-ultrafines-dans-les-environs-de-l-aeroport-de-nantes-atlantique-juin-2021-decembre-2021>

⁹ Li-Hao Young and Gerald J. Keeler, "Summertime Ultrafine Particles in Urban and Industrial Air: Aitken and Nucleation Mode Particle, Events," *Aerosol and Air Quality Research* 7 (January 1, 2007),

L'ammoniac (NH₃)

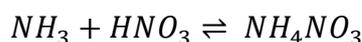
Contexte

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.

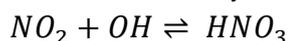
L'ammoniac est odorant et incolore et est surveillé car sa présence dans l'atmosphère peut entraîner la formation de particules secondaires, essentiellement composées de nitrates d'ammonium. Selon l'ANSES, ces particules ont une forte probabilité d'altérer la santé cardiovasculaire et une probabilité 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 MERA¹⁰. 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

¹⁰ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-mera>

Résultats

La figure suivante présente l'évolution de ces concentrations mensuelles de mars 2022 à décembre 2023.

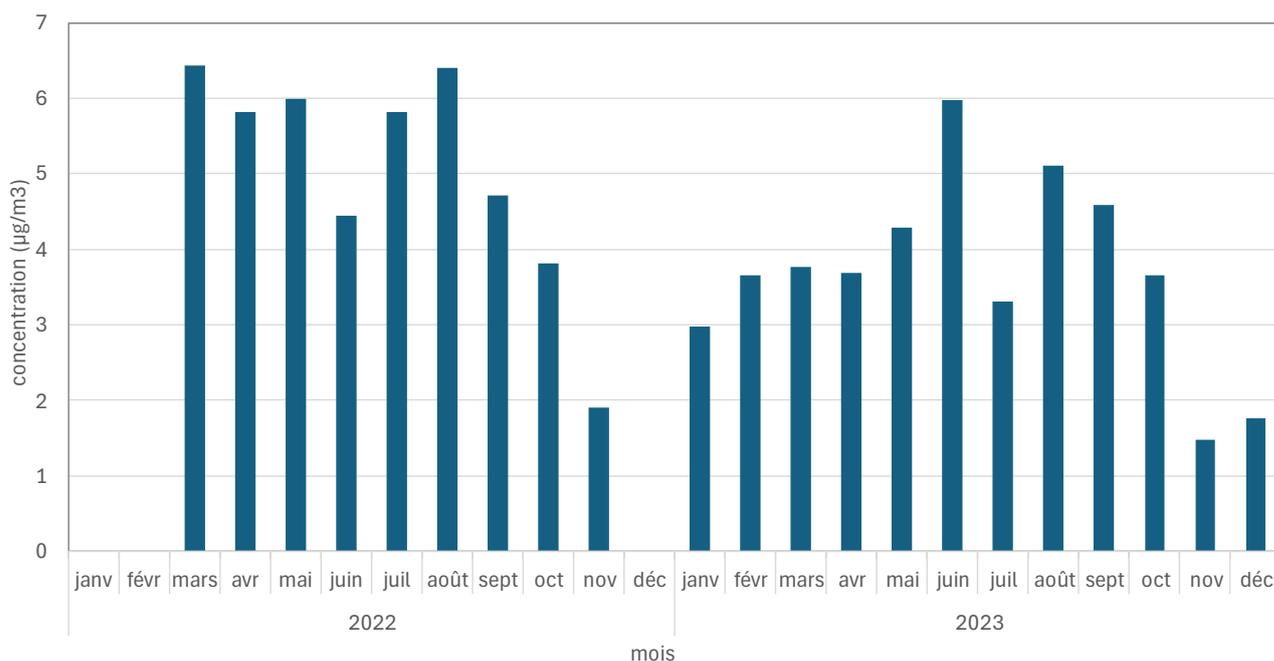


Figure 11 : évolution des concentrations mensuelles en ammoniac (NH_3) sur le site de la Tardière

L'évolution des concentrations mensuelles montre des niveaux plus élevés au printemps et en été par rapport à la période automnale et hivernale en lien avec les périodes d'épandage¹¹.

Les boxplots (définition en annexe 1) des concentrations horaires mesurées respectivement en 2022 et 2023 sont présentés ci-dessous :

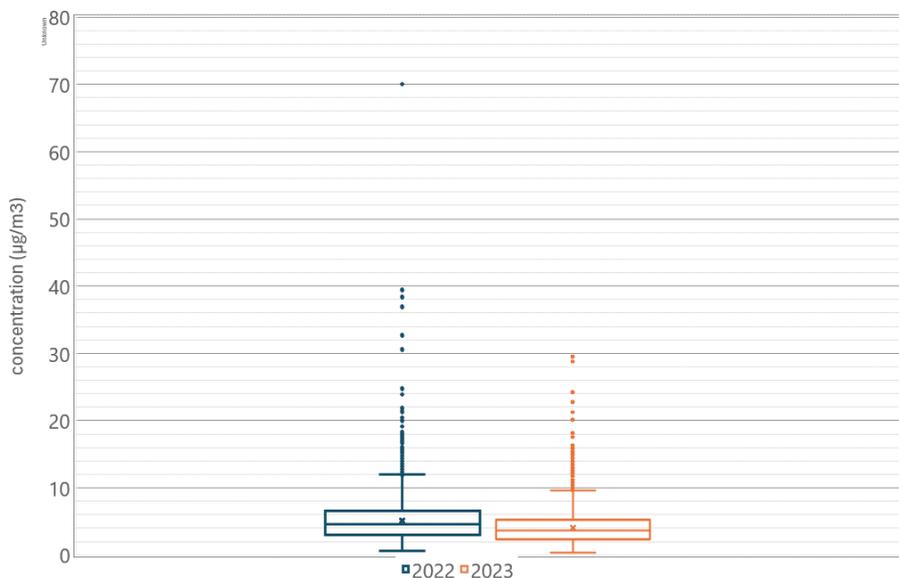


Figure 12 : boxplots des concentrations horaires d'ammoniac (NH_3) sur le site de la Tardière, en 2022 et 2023

En 2022, les concentrations moyenne ($5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et médiane ($4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont plus élevées que celles enregistrées en 2023 (moyenne de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$; médiane de $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette différence est liée à des niveaux mesurés plus élevés au printemps (mars - avril) et durant l'été 2022 (juillet -août) par rapport aux mêmes périodes en 2023. Les conditions météorologiques au printemps et été 2022 ont été plus propices aux émissions d'ammoniac dans l'air avec des températures atmosphériques plus élevées et des précipitations plus faibles¹².

¹¹ <https://ssm-ecologie.shinyapps.io/calepan/>

¹² <https://www.infoclimat.fr/climatologie/globale/mois-de-mars/la-roche-sur-yon-les-ajoncs/07306.html>

À titre de comparaison, les boxplots en NH₃ ont été calculés sur les stations rurales de Kergoff en Bretagne, de Oysonville en Centre-Val-de-Loire ainsi qu'à la Tardière en 2023. La carte suivante présente la localisation des 3 sites.

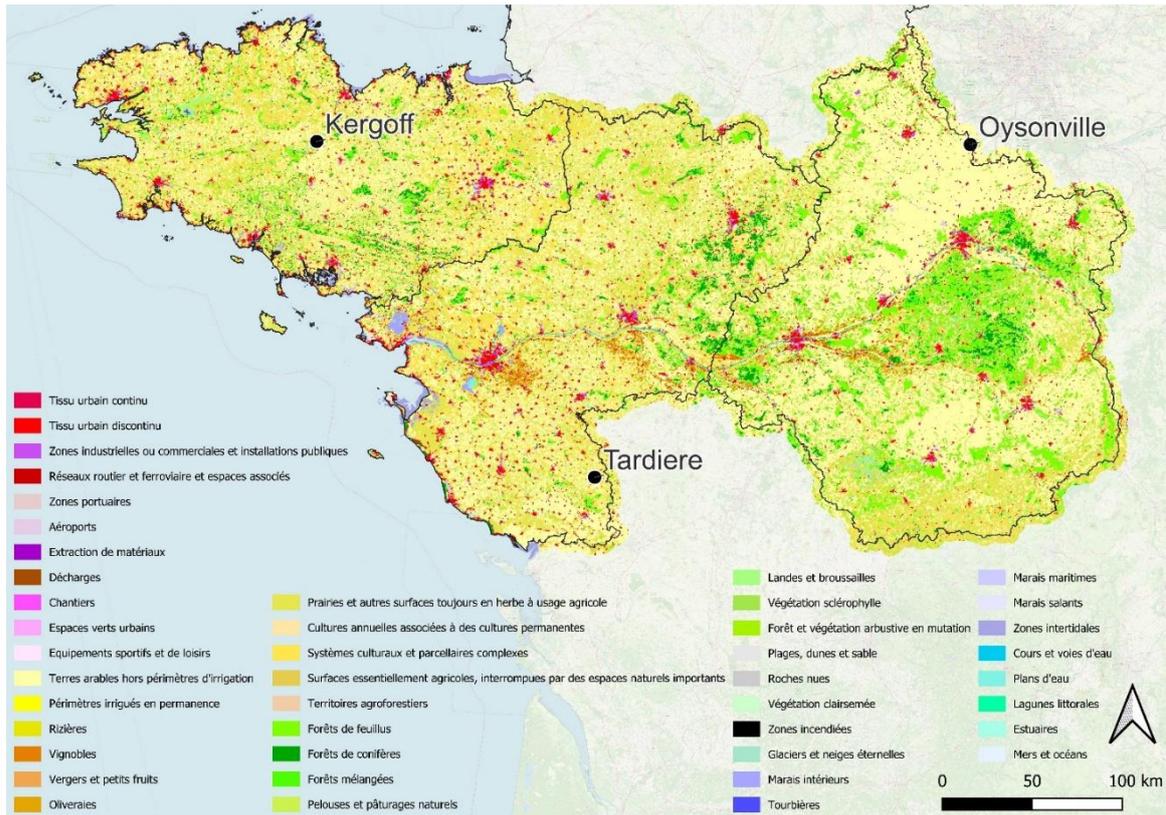


Figure 13 : carte des stations de mesure avec occupation des sols

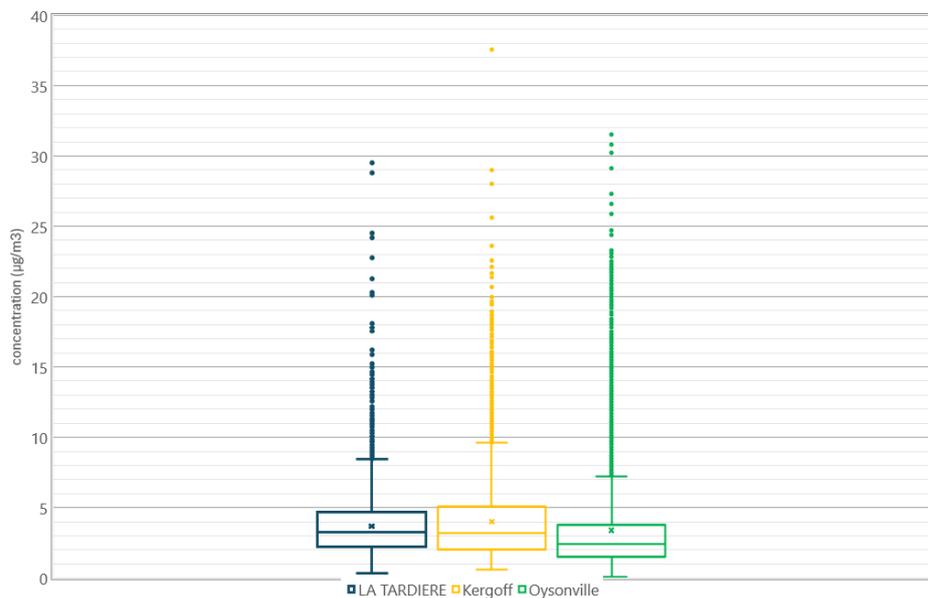


Figure 14 : box plot des concentrations horaires enregistrées en 2023 respectivement à la Tardière, Kergoff et Oysonville

Les concentrations moyenne et médiane sont comparables entre le site de Bretagne (4 µg/m³ en moyenne annuelle ; 3.2 µg/m³ en médiane) et des Pays de la Loire (3.7µg/m³ en moyenne annuelle ; 3.3 µg/m³ en médiane) mais plus faibles en Centre-Val-de-Loire (3.4 µg/m³ en moyenne et 2.4 µg/m³ en médiane).

Ces différences s'expliquent par des émissions annuelles d'ammoniac, en lien avec l'agriculture, de l'ordre de 5,6 tonnes/km² sur l'EPCI de Kergoff (Communauté de Communes de Loudeac Communauté) contre 4,9 tonnes/km² sur l'EPCI de la Tardière (Communauté de Communes du Pays de la Châtaigneraie) et 1,2 tonnes/km² sur l'EPCI de Oysonville (Communauté de Communes Cœur de Beauce).

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.

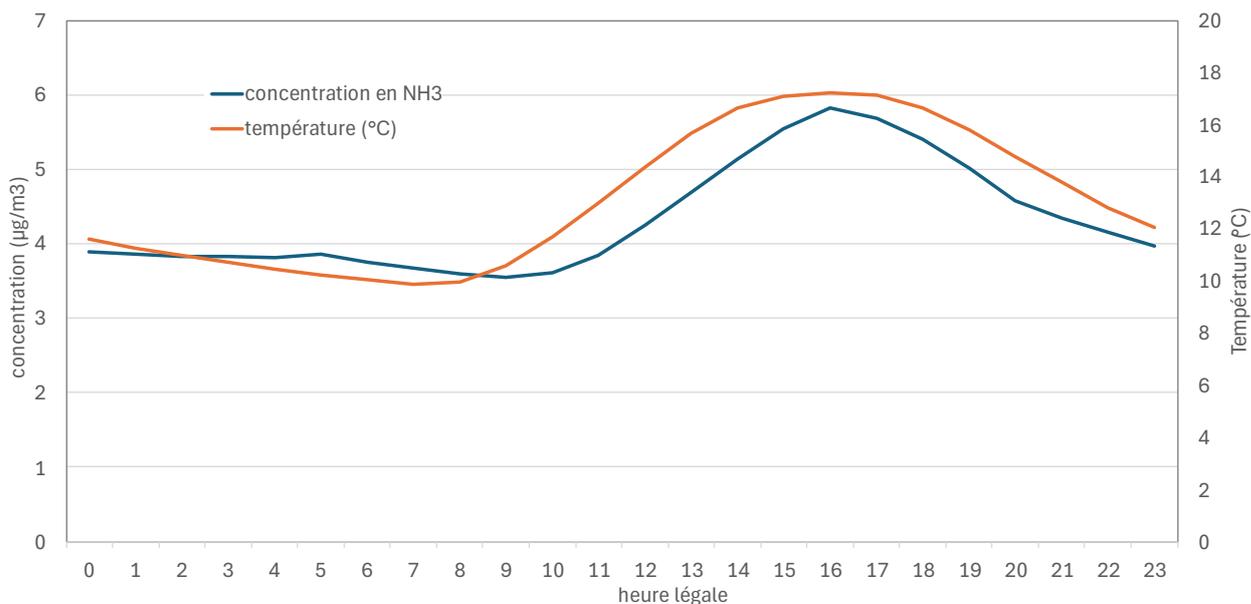


Figure 15 : profil journalier des concentrations horaires d'ammoniac (NH₃) et des températures atmosphériques sur le site de la Tardière mesurées depuis mars 2022

Le profil journalier montre des concentrations moyennes en NH₃ durant la nuit et en matinée proche de 4 µg/m³. Elles augmentent progressivement à partir de 11h pour atteindre 6 µg/m³ à 16h, avant de redescendre progressivement en fin de journée pour atteindre un niveau de fond à partir de 23h. Cette évolution au sein de la journée est liée à celle de l'évolution de la température qui favorise les émissions de NH₃ lorsque la température de l'air augmente.

Conclusion

Les concentrations en ammoniac sont mesurées en milieu rural en Vendée, à la station de la Tardière, depuis mars 2022. En 2022, les concentrations moyenne (5.1 µg/m³) et médiane (4.6 µg/m³) en 2022 sont plus élevées que celles enregistrées en 2023 (moyenne de 4 µg/m³ ; médiane de 3.7 µg/m³). Les conditions météorologiques au printemps et l'été 2022 ont été plus propices aux émissions d'ammoniac dans l'air avec des températures atmosphériques plus élevées et des précipitations plus faibles.

Une hausse des concentrations est observée dans la journée, en lien avec l'augmentation des températures en journée qui favorise les émissions de l'ammoniac dans l'air. Au cours de l'année, ce sont durant les périodes printanière et estivale que l'on mesure les concentrations les plus élevées du fait des périodes d'épandage et des températures les plus élevées.

Les concentrations moyenne et médiane sont comparables en Bretagne et en Pays de la Loire mais plus faibles en Centre-Val-de-Loire en lien avec des activités agricoles émettrices d'ammoniac moins intenses.

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 forêt 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. Par ailleurs Le Carbone Suie (BC) a la propriété particulière d'absorber la lumière visible de 100 à 1000 fois plus que les autres aérosols atmosphériques. L'absorption de la lumière visible par le carbone-suie a des répercussions très directes sur le réchauffement climatique puisque l'énergie absorbée est alors restituée sous forme de chaleur.

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. Toutefois compte tenu de son impact sanitaire et climatique, ce polluant fait partie des polluants d'intérêt national qui font l'objet d'une surveillance nationale.

Dispositif de mesure

Dans le cadre du programme national CARA (CARactérisation des Aérosols)¹³, le suivi permanent du black carbon dans le Pays de la Loire est réalisé sur le site urbain de la Bouteillerie à Nantes (cf. Figure 3) à l'aide d'un aéthalomètre AE33. Le principe de mesure des aéthalomètres repose sur l'atténuation de l'intensité d'un faisceau lumineux à travers un échantillon de poussières atmosphériques déposées sur un filtre. L'AE33 réalise une analyse du Carbone Suie sur 7 longueurs d'onde qui 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 permette d'étudier l'origine de la pollution particulaire issue de processus de combustion.

Résultats

L'évolution mensuelle de la fraction de carbone suie liée à la combustion de biomasse est présentée ci-dessous. Elle est calculée sur les années 2022 et 2023 :

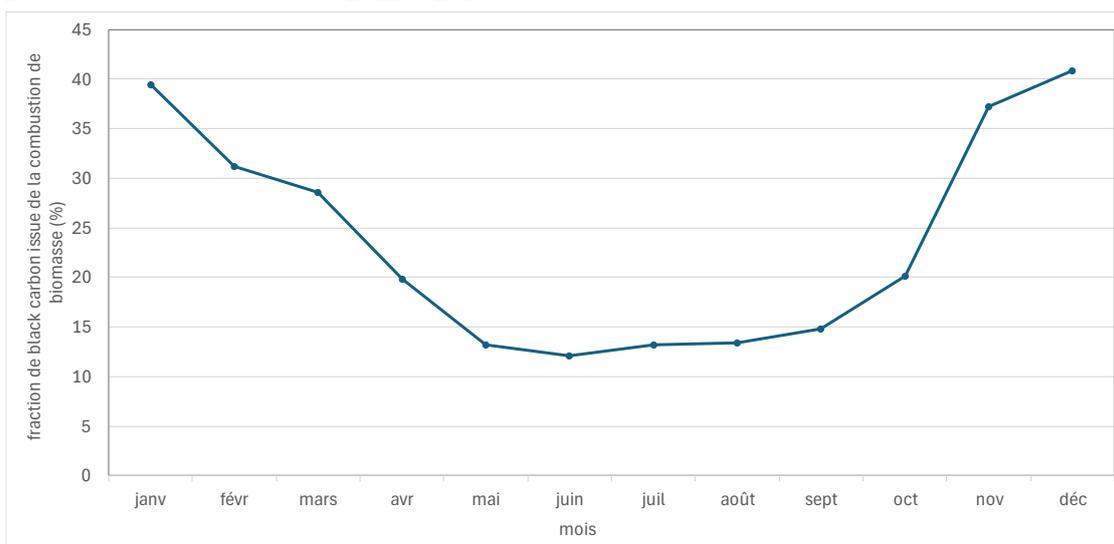


Figure 16 : évolution mensuelle de la fraction (%) de carbone suie liée à la combustion de biomasse au cimetière de la Bouteillerie (2022-2023)

L'évolution mensuelle du carbone suie liée à la combustion de biomasse montre un cycle saisonnier marqué avec des proportions les plus élevées (30 à 50 %) en période hivernale (novembre à mars) et les plus faibles (10 % à 15 %) en période estivale (mai à septembre). Cette évolution peut s'expliquer par des émissions issues des équipements de chauffage domestique au bois peu efficaces (cheminées à foyer ouvert notamment).

¹³ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara#:~:text=Le%20programme%20CARA%2C%20%2C%20AB%20caract%C3%A9risation%20chimique,le%20LCSQA%20et%20les%20AASQA>

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

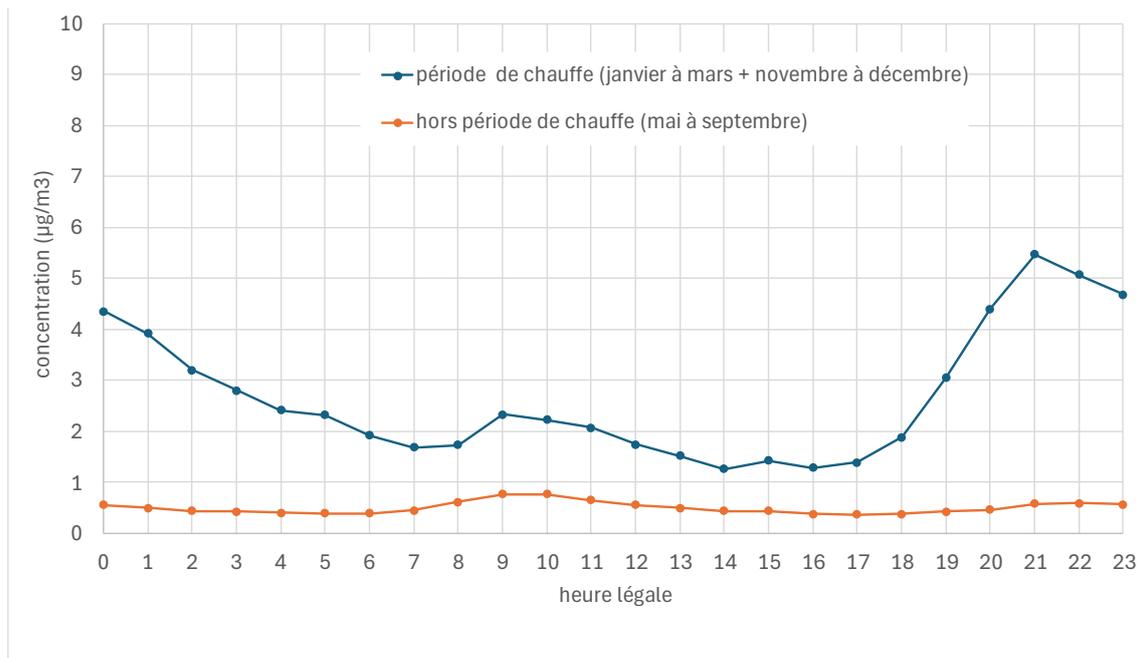


Figure 17 : profils journaliers des concentrations de carbone suie liées à la combustion de biomasse au cimetière de la Bouteillerie en période de chauffe et hors période de chauffe calculés pour les années 2022 et 2023

Les concentrations moyennes hors période de chauffe sont stables, avec des valeurs comprises entre $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durant la période de chauffe, les concentrations sont plus élevées, avec des valeurs comprises en moyenne entre $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en début d'après-midi et $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en soirée. Une augmentation des concentrations est observée le soir, à partir de 18h jusqu'à 22h-23h 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 $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cf. graphique suivant).

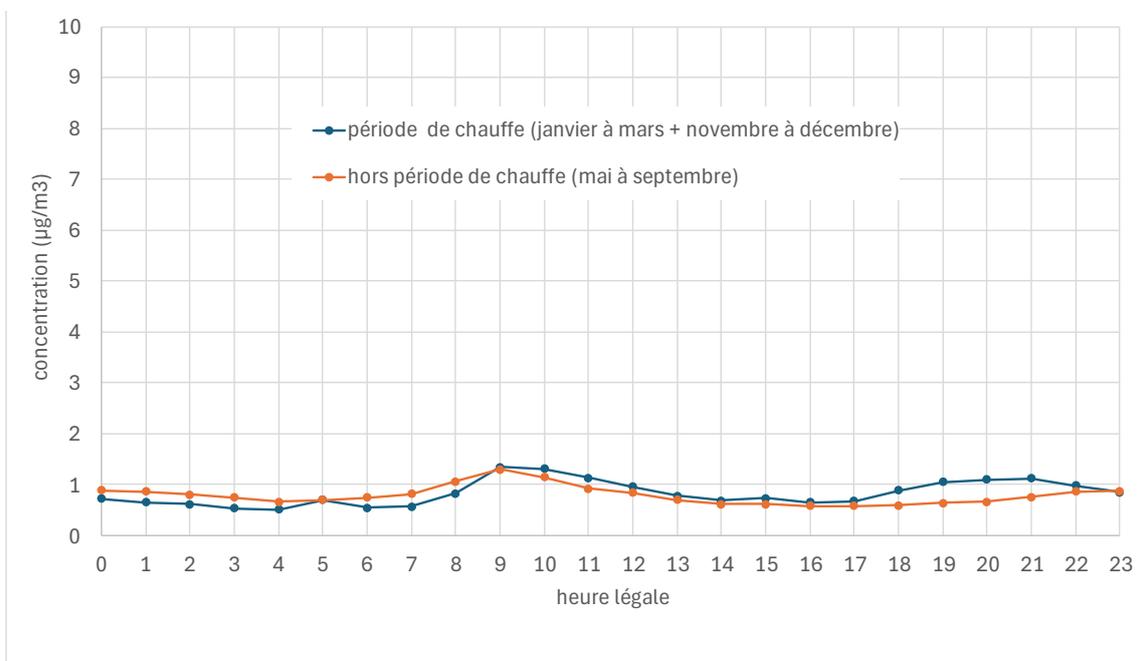


Figure 18 : profils journaliers des concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures au cimetière de la Bouteillerie en période de chauffe et hors période de chauffe calculés pour les années 2022 et 2023

Les concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures sont donc que peu influencées par la saison de chauffe contrairement aux concentrations de carbone suie liées à la combustion de biomasse, comme le montre également l'évolution des concentrations mensuelles (cf. figure suivante).

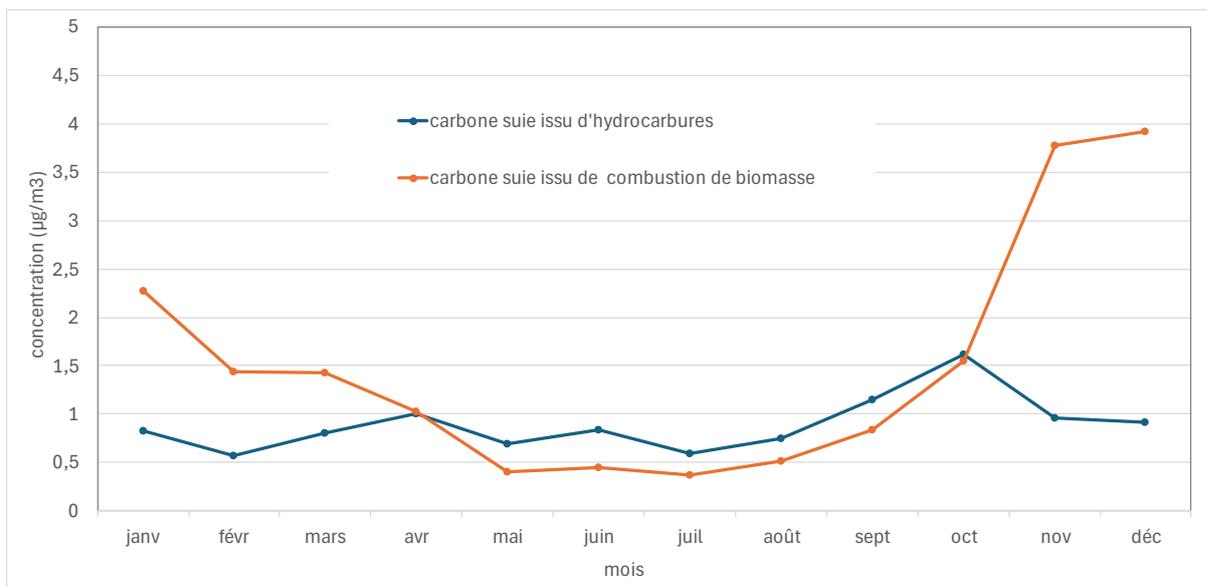


Figure 19 : évolution mensuelle des concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures et à la combustion de biomasse au cimetière de la Bouteillerie calculée pour les années 2022 et 2023

Conclusion

Les concentrations en carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures et à la biomasse sont évaluées à la station de fond urbaine du cimetière de la Bouteillerie à Nantes.

Les concentrations liées à la combustion d'hydrocarbures sont stables dans la journée et durant l'année comprises entre 0,5 et 1,6 µg/m³.

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 µg/m³ et 5 µg/m³, 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 ouvert 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 aiguë (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 anaérobique qui se produisent au sein des amas d'algues échouées 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 organismes¹⁴ 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.

¹⁴ 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

À la suite d'un incident technique survenu dans la raffinerie le 26 octobre 2011 provoquant des émissions de H₂S dans l'air¹⁵ 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).

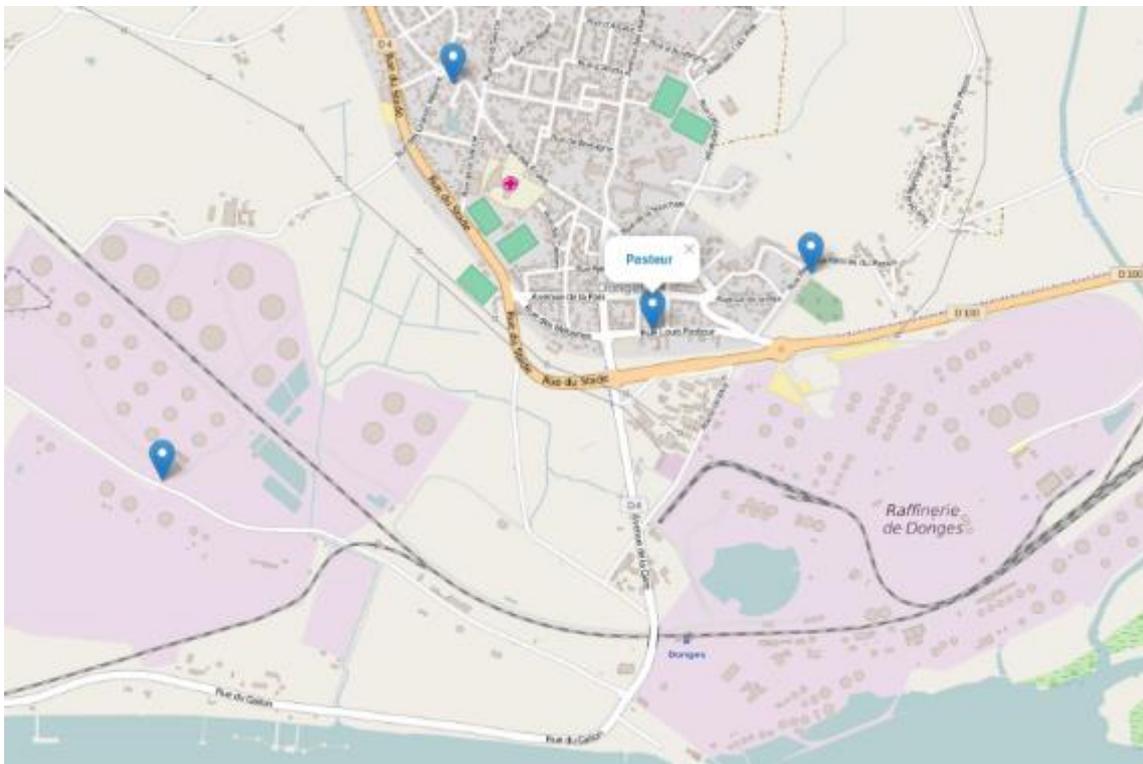


Figure 20 : localisation de la station permanente rue Pasteur à Donges

Le tableau suivant résume les niveaux de pollution en H₂S mesurés rue Pasteur à Donges dans l'environnement de la raffinerie TotalEnergies en 2023.

	Pasteur
Moyenne sur la période d'étude	0,4 µg/m ³
Moyenne quart-horaire maximale	5,9 µg/m ³
Moyenne demi-horaire maximale	5,6 µg/m ³
Taux de demi-heures supérieures à 7 µg/m ³	0 %
Moyenne horaire maximale	4,5 µg/m ³
Moyenne journalière maximale	1,5 µg/m ³

Les niveaux moyens de H₂S enregistrés rue Pasteur respectent les valeurs toxicologiques de référence sur l'ensemble des pas de temps considérés. La valeur guide de l'OMS relative à la gêne olfactive (7 µg/m³ en moyenne sur ½ heure) n'a pas été dépassée en 2023 (un seul dépassement constaté en 2022).

¹⁵ 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 ponctuelle des concentrations (cf. figures ci-dessous).

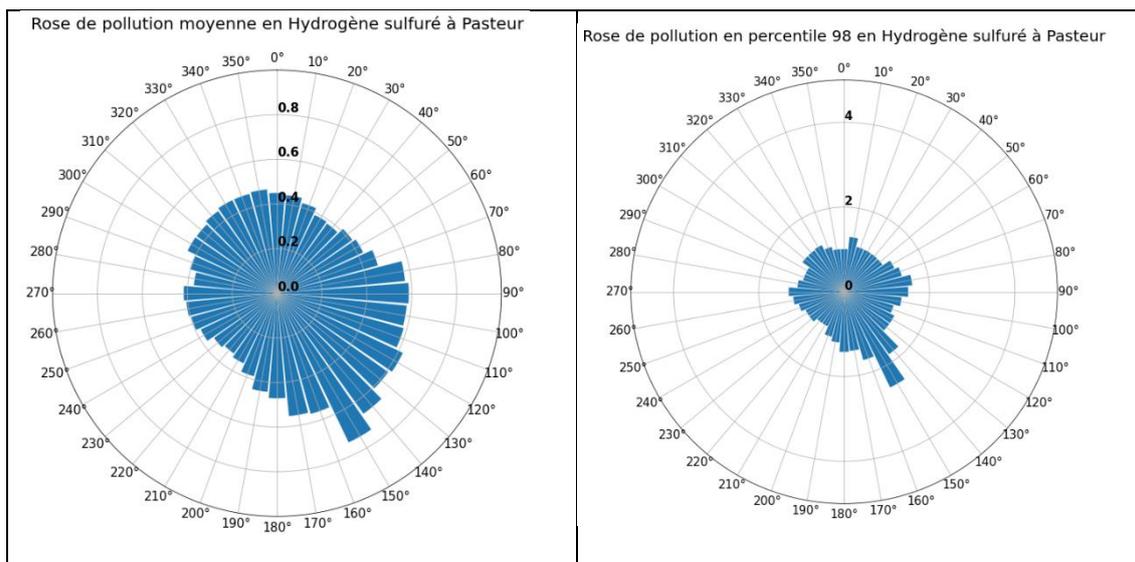


Figure 21 : roses de pollution calculées pour les concentrations moyennes et de pointes (percentile 98) en H₂S mesurées rue Pasteur à Donges en 2023

Surveillance de H₂S en zone côtière

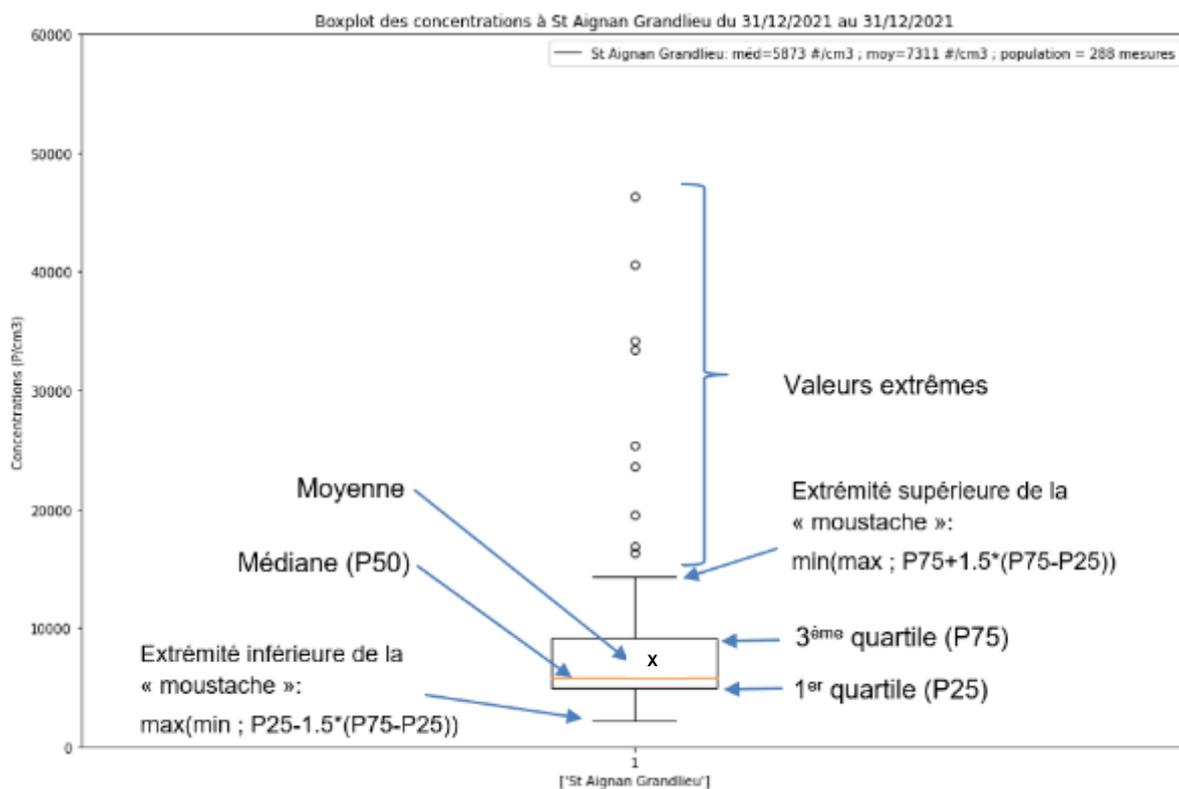
Compte tenu du caractère non systématique des échouages d'algues à l'origine des émissions d'H₂S en Pays de la Loire, la mise en place d'un dispositif de surveillance léger basé sur des campagnes de mesure est envisagée à la demande (collectivités, ARS, service de l'État). Vu que ces phénomènes d'échouage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

Annexes

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

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 moyenne, 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.

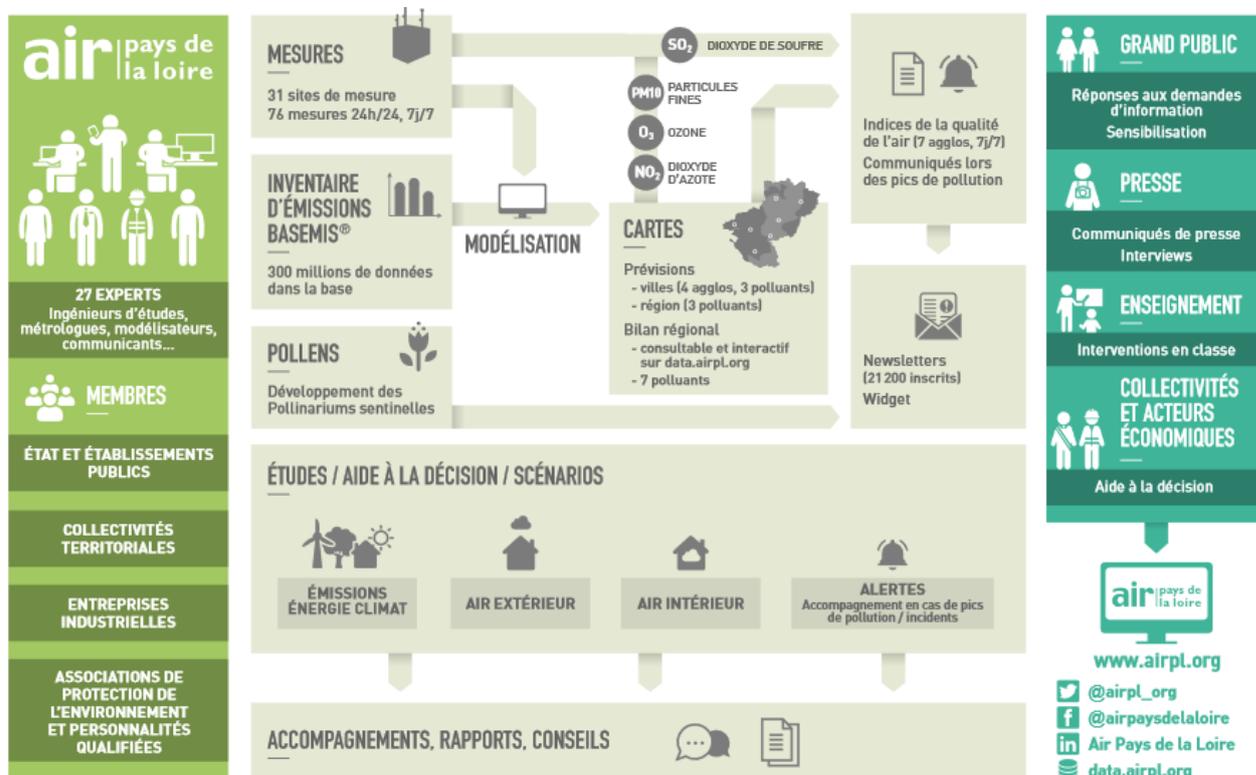
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- 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