



Crédit photo : Alexandre LAMOUREUX



QUALITÉ DE L'AIR À SAINT GILLES CROIX DE VIE

Rapport final

Campagne 2022 – 2023



air pays de
la Loire
www.airpl.org



Sommaire

Synthèse	4
Introduction générale	5
1^{re} Partie	6
Diagnostic de la qualité de l'air	6
Conditions expérimentales	6
Résultats	9
Dioxyde d'azote (NO ₂)	9
Ozone (O ₃)	16
Monoxyde de carbone (CO)	18
2^e Partie	19
Analyse des mesures par microcapteur	19
Dispositif déployé	19
Période de mesure	19
Résultats	20
Conclusions et perspectives	24
Annexes	25

contributions

Coordination de l'étude, interprétation et rédaction : Kristan Cuny-Guirriec, Camille Magnan

Mise en page : Bérangère Poussin

Métérologie Opérationnelle : Arnaud Tricoire, Sonia Cécile, Mickaël Charuel

Validation : François Ducroz, Céline Puente-Lelièvre et Lucie Vidal

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.

remerciements

Air Pays de la Loire remercie les partenaires et financeurs de ce projet : la Région des Pays de la Loire et le Pays de Saint Gilles Croix de Vie Agglomération. En complément, la ville de Saint Gilles Croix de Vie, notamment les services de la salle de la Conserverie, pour son assistance lors de l'installation et du retrait des appareils de mesure.

Synthèse

Contexte

Dans le cadre de son Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET), le Pays de Saint Gilles Croix de Vie Agglomération a mandaté Air Pays de la Loire pour évaluer la qualité de l'air sur son territoire selon trois objectifs :

- Évaluer la qualité de l'air du territoire du Pays de Saint Gilles Croix de Vie à l'échelle annuelle ;
- Évaluer l'impact de la saison estivale sur la teneur en polluants réglementaires ;
- Évaluer la qualité des mesures par microcapteur pour envisager une pérennisation de ce type d'installation.

Qualité de l'air à Saint Gilles Croix de Vie

Une campagne de mesure de 4 mois a été effectuée du 7 juillet au 29 août 2022, puis du 3 février au 27 mars 2023, sur le site de la Conserverie, à Saint Gilles Croix de Vie. Ces mesures ont évalué en temps réel les concentrations des principaux polluants réglementaires (PM10, PM2.5, NO₂, O₃, et CO). Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats par polluant réglementaire, en moyenne sur les 4 mois de mesure et la situation par rapport aux valeurs réglementaires et valeurs guides de l'OMS.

Polluant	Saint Gilles Croix de Vie	La Roche-sur-Yon	Nantes (Centre)	Bd des Frères de Goncourt (Nantes)	Probabilité de respect des seuils réglementaires*	Probabilité de respect valeurs guides OMS*
NO ₂ (µg/m ³)	7,6	7,8	10	24	😊	😊 annuel 😊 journalier
PM10 (µg/m ³)	22	17	16	20	😊 (seuils annuels) 😞 seuil d'information (journalier)	😊 annuel 😞 journalier
PM2.5 (µg/m ³)	11	10	11	12	😊 valeur limite 😞 objectif de qualité	😊 annuel 😞 journalier
O ₃ (µg/m ³)	63	65	62		😊 seuil d'information 😞 objectif de qualité	😞
CO (µg/m ³)	280	218			😊	😊

Tableau 1 : tableau de synthèse des résultats par polluant vis-à-vis des valeurs réglementaires

😊 = probabilité de respect de la valeur réglementaire ; 😞 = probabilité de dépassement de la valeur réglementaire

😞 = dépassement constaté de la valeur réglementaire.

* l'ensemble des valeurs réglementaires est rappelé en annexe 6

Les niveaux en dioxyde d'azote sont cohérents avec ceux enregistrés sur le site urbain de la Roche-sur-Yon. On note une augmentation des concentrations en période estivale en lien avec l'affluence touristique.

La concentration moyenne en particules PM10 est supérieure à celles enregistrées durant la même période sur les sites urbains de la Roche-sur-Yon et de Nantes. Une influence des embruns marins par vents soutenus en provenance de l'océan a été mise en évidence.

Les niveaux d'ozone et de particules fines PM2.5 sont globalement cohérents avec ceux mesurés à la Roche-sur-Yon et Nantes.

Mesures par microcapteur

Parallèlement, un réseau de microcapteurs a été déployé sur la collectivité de manière expérimentale afin de mesurer le NO₂, les PM10 et les PM2.5, sur trois sites répartis à Saint Gilles Croix de Vie.

La comparaison des mesures par microcapteur avec celles effectuées par analyseur automatique est peu concluante, (hormis pour la mesure du NO₂ avec le microcapteur Ellona de seconde génération).

En revanche une bonne corrélation entre les mesures effectuées par les différents microcapteurs a été observée.

Ces mesures indicatives montrent des niveaux homogènes entre les 3 sites investigués pour les particules PM10 et PM2.5. Les mesures en NO₂ montrent des niveaux 35 % plus faibles sur le site de l'école de voile par rapport aux autres sites de mesure, ce site étant moins exposé au trafic routier qu'en centre-ville.

Introduction générale

Conformément à sa stratégie définie dans son PCAET « suivre et améliorer la qualité de l'air sur le territoire », le Pays de Saint Gilles Croix de Vie Agglomération s'interroge sur l'impact de la saison estivale sur les concentrations en polluants réglementaires, où la population passe notamment de 50 000 habitants en moyenne à l'année à 250 000 habitants en été.

Pour cela, la collectivité a sollicité Air Pays de la Loire afin d'effectuer des mesures automatiques des différents polluants réglementaires associés au trafic routier et à la pollution estivale : le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules PM10 et particules fines PM2.5, et l'ozone (O₃). Afin d'accompagner la collectivité dans son diagnostic de la qualité de l'air, et à titre expérimental, Air Pays de la Loire a également déployé sur le territoire des mesures par microcapteur, permettant de mesurer en parallèle le dioxyde d'azote, les particules PM10 et les particules fines PM2.5¹.

L'objectif est triple :

- Évaluer la qualité de l'air du territoire du Pays de Saint Gilles Croix de Vie au regard des seuils de réglementation. Le respect des valeurs réglementaires, basé sur une année entière, ne peut être effectué *stricto sensu*, mais la probabilité de respect de ces seuils pourra être évaluée par comparaison avec les mesures permanentes effectuées sur le réseau de station pérenne d'Air Pays de la Loire ;
- Évaluer l'impact de la saison estivale sur la teneur en polluants réglementaires ;
- Évaluer la qualité des mesures par microcapteur pour envisager une pérennisation de ce type d'installation.

Pour répondre à ces objectifs, deux stratégies de mesure ont été déployées en parallèle :

- (1) Une campagne de mesure sur site en 2 temps – été, puis hiver, afin d'évaluer les concentrations des principaux polluants réglementaires en deux situations météorologiques contrastées. Cette comparaison été/hiver permet également d'évaluer l'impact de la saison touristique sur les polluants mesurés.
- (2) 6 microcapteurs ont en outre été installés sur le territoire afin d'étudier leur fiabilité. Une période d'intercomparaison a été effectuée avec les mesures de référence du laboratoire mobile sur 2 mois estivaux et 2 mois hivernaux. En effet, les microcapteurs constituent depuis quelques années une solution de mesure de certains polluants à moindre coût, qui peut être complémentaire aux outils de référence d'Air Pays de la Loire. De par leur faible coût et leur simplicité de mise en œuvre, ils s'adaptent facilement à leur environnement. Il existe un grand nombre de microcapteurs ; leurs coût, fiabilité et maturité sont variables (cf. challengeAirlab : <https://airparif.shinyapps.io/ChallengeResultsFR/>). L'objectif, ici, est d'évaluer leur pertinence dans le cadre d'une campagne de mesure multisites sur un territoire.

Réglementation en air ambiant

Les concentrations de polluant dans l'air sont réglementées par le décret 2010-1250 du 21/10/2010.

La réglementation définit plusieurs niveaux :

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 à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

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

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

¹ Mesures du NO₂ par capteur électrochimique, mesures des PM10 et PM2,5 par capteur optique.

1^{re} Partie

Diagnostic de la qualité de l'air

Conditions expérimentales

Dispositif déployé

Afin de répondre aux objectifs de l'évaluation de la qualité de l'air, un laboratoire mobile a été installé dans l'enclos de la salle de la Conserverie, à Saint Gilles Croix de Vie (Figure 3). Ce site a été privilégié afin d'être au plus proche du centre-ville et à proximité des axes routiers fréquentés (vingt mètres du Boulevard de l'Égalité au sud, et cinquante mètres du Quai des Greniers à l'est).

Ce laboratoire, équipé d'analyseurs automatiques, permet un suivi en temps réel des niveaux de polluant dans l'air (mesures tous les quarts d'heure) : le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules PM10 (de diamètre inférieur à 10 µm) et particules fines PM2.5 (de diamètre inférieur à 2,5 µm), et l'ozone (O₃).



Figure 1 : localisation du laboratoire mobile de mesure à proximité du centre-ville de Saint Gilles Croix de Vie, et illustration du laboratoire mobile

Période de mesure

La phase de mesure estivale s'est déroulée du 7 juillet au 29 août 2022.

La phase de mesure hivernale s'est tenue du 3 février au 27 mars 2023.

Taux de validité des mesures

Le tableau ci-dessous donne les taux de disponibilité des mesures sur la campagne :

localisation	période de mesure	taux de validité des mesures				
		PM10	PM2.5	NO ₂	O ₃	CO
Salle de la Conserverie	du 07/07 au 29/08/22	99 %	97 %	99 %	99 %	93 %
	du 03/02 au 27/03/2023	97 %	99 %	99 %	99 %	97 %

Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques ont un impact sur la qualité de l'air, en particulier sur la dispersion des polluants dans l'atmosphère. L'ensemble des données météorologiques utilisées au cours de cette campagne sont issues de la station Météo-France de La Roche-sur-Yon.

Phase estivale – du 7 juillet au 29 août 2022

La figure ci-dessous représente la rose des vents mesurés à la station Météo-France de La Roche-sur-Yon pendant la phase estivale (voir encadré *méthodologie* pour la lecture d'une rose des vents).

La phase estivale de la campagne a été marquée par des vents majoritaires de nord-nord-est, plutôt associés à des périodes anticycloniques, favorisant un fort ensoleillement en été, avec de possibles imports et production d'ozone.

Les températures ont été particulièrement élevées au cours de cette phase, avec une succession d'épisodes caniculaires et une sécheresse remarquable. Les mesures effectuées à La Roche-sur-Yon montrent une température moyenne de 22,8°C, au-dessus des normales saisonnières (19,5°C en moyenne sur la période juillet-août 1991 - 2020). La température minimale a été de 12,2°C et la température maximale de 41°C.

Ces journées à fortes amplitudes thermiques, fort ensoleillement et aux températures élevées sont généralement favorables à la production d'ozone. Elles sont également favorables aux inversions de température au petit matin, qui ont pour effet d'accumuler localement les polluants avant la montée des températures.

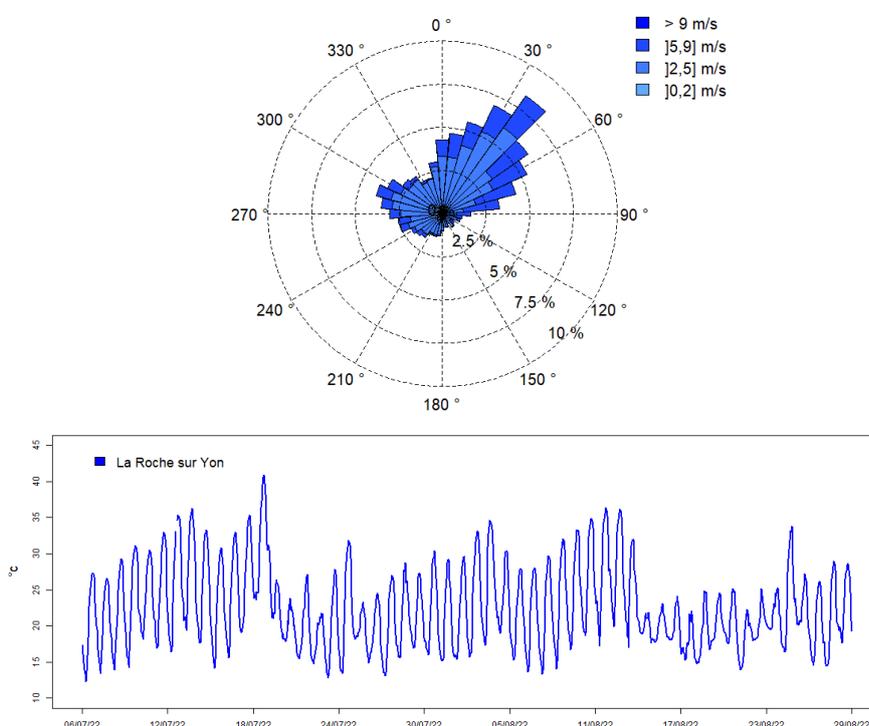


Figure 2 : rose des vents (en haut) et évolution de la température (en moyenne horaire) à la Roche-sur-Yon (en bas) du 7 juillet au 29 août 2022 lors de la 1^{re} phase de mesure par laboratoire mobile

Le site de mesure est situé à vingt mètres du boulevard de l'Égalité et proche du centre-bourg (figure 3).

Rose des vents

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

Comment lire une rose des vents :

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

Phase hivernale – du 3 février au 27 mars 2023

La phase hivernale s'est caractérisée par deux régimes de vents distincts. L'un, de nord-est (directions de vent comprises entre 20°N et 70°N), associé à des conditions anticycloniques stables. Ce type de régime favorise les fortes amplitudes thermiques et les couches d'inversion thermique le matin, qui ont pour effet de bloquer et d'accumuler les polluants localement émis au sol. L'autre régime est matérialisé par des vents de sud-ouest, associés à des conditions perturbées. Ce type de régime, plutôt venteux et pluvieux, a pour effet de favoriser une dispersion efficace des polluants localement émis.

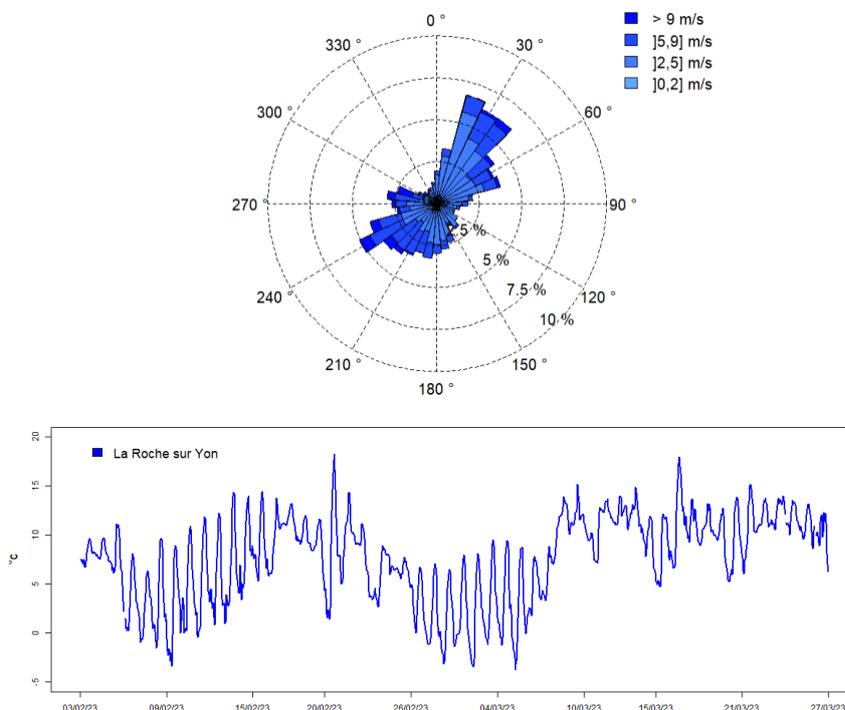


Figure 3 : rose des vents (en haut) et évolution de la température (en moyenne horaire) à la Roche-sur-Yon (en bas) du 3 février au 27 mars 2023 lors de la seconde phase de mesure par laboratoire mobile

Le site de mesure a été exposé aux vents en provenance du boulevard de l'Égalité pendant 38 % du temps de la phase hivernale.

Résultats

Les sous-parties suivantes présentent, polluant par polluant, les résultats de mesure obtenus pendant la campagne. Pour chacun de ces polluants, les mesures sont comparées aux valeurs réglementaires et aux mesures effectuées dans des stations permanentes d'Air Pays de la Loire.

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>
---	---	---	--	---

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

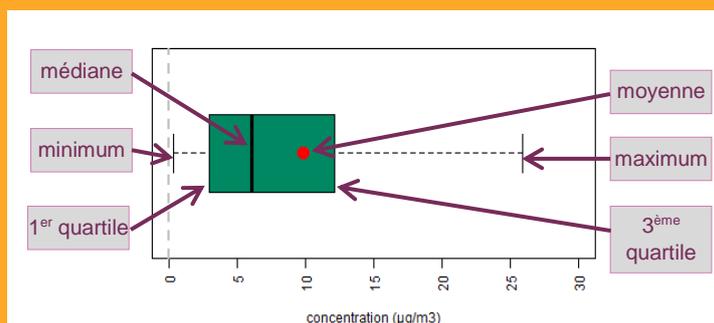
- Une **valeur limite en moyenne annuelle** fixée à 40 µg/m³ ;
- Une **valeur limite en moyenne horaire** fixée à 200 µg/m³, à ne pas dépasser plus de 18 heures par an ;
- Un **seuil d'information et de recommandation** fixée à 200 µg/m³ en moyenne horaire ;
- À titre d'information, l'OMS (2021) préconise une valeur guide de 25 µg/m³ en moyenne journalière, et 10 µg/m³ en moyenne annuelle.

Le dioxyde d'azote est un marqueur du trafic routier, étant principalement émis par ce secteur.

La figure 4 ci-dessous représente, sous forme d'un boxplot (cf. encadré *Méthodologie*) la répartition statistique des mesures sur les 3 sites de mesure, au cours des deux phases de la campagne.

Méthodologie

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



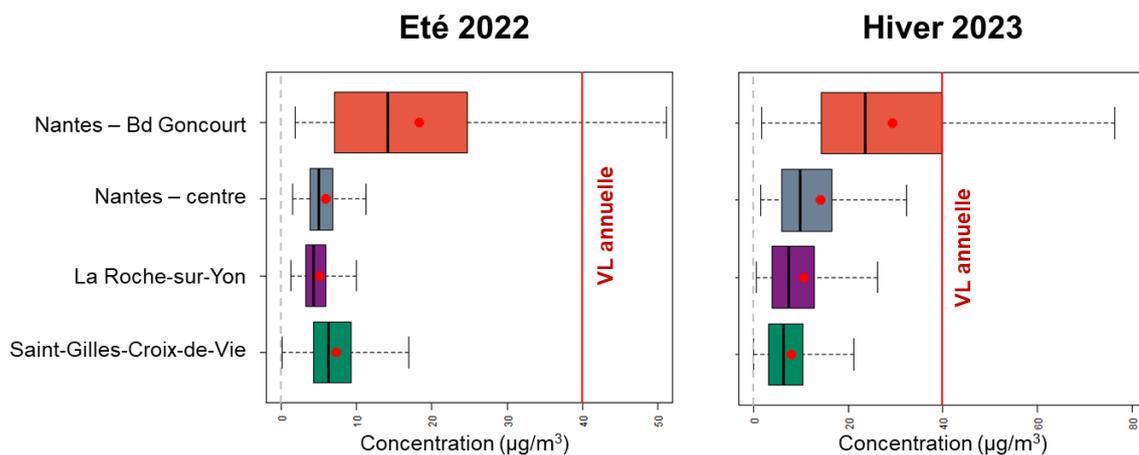


Figure 4 : boxplot des concentrations en NO₂ au cours de la phase estivale (gauche) et hivernale (droite). La valeur limite annuelle est représentée par le trait rouge

En été, les concentrations à Saint Gilles Croix de Vie sont plus dispersées que sur les sites urbains de La Roche-sur-Yon et Nantes–centre, et les concentrations moyennes y sont plus élevées (7,3 µg/m³ à Saint Gilles Croix de Vie, 5,1 µg/m³ et 5,9 µg/m³ à La Roche-sur-Yon et Nantes – centre, respectivement). Elles restent toutefois inférieures aux valeurs relevées sur le site de mesure de type trafic routier, au Boulevard des Frères de Goncourt à Nantes (18,3 µg/m³ en moyenne sur les 2 mois de mesure). Cela s’explique par la proximité immédiate du site de mesure de Saint Gilles Croix de Vie avec le Boulevard de l’Égalité, fréquenté, mais dont le trafic demeure moins important que celui du Boulevard des Frères de Goncourt. Le boulevard de l’Égalité est également moins enclavé que celui des Frères de Goncourt, dont les bâtiments qui l’encadrent produisent un *effet canyon*, limitant la dispersion des polluants dans l’air.

En hiver à l’inverse, les concentrations moyennes à Saint Gilles Croix de Vie (7,9 µg/m³) sont inférieures à celles relevées sur les autres sites de mesure (comprises entre 10,5 µg/m³ et 29,5 µg/m³ à La Roche-sur-Yon et au Boulevard des Frères de Goncourt, respectivement). Les mesures y sont également moins dispersées que sur les sites urbains de référence. Le trafic moindre à cette période de l’année peut expliquer cette disparité entre la phase estivale et la phase hivernale.

Ces résultats montrent en outre que :

- Les moyennes sur les quatre mois de mesure à Saint Gilles Croix de Vie (7,6 µg/m³) **indiquent une forte probabilité que la valeur limite** (40 µg/m³) et que **l’objectif de qualité** (40 µg/m³) **soient respectés** au cours de l’année ;
- **Vis-à-vis des seuils préconisés par l’OMS**, par comparaison avec les sites de mesure permanente à La Roche-sur-Yon et Nantes-centre, qui enregistrent une concentration moyenne de 7,6 et 11 µg/m³ respectivement sur l’année 2022, il est **probable que la valeur guide annuelle soit respectée** à Saint Gilles Croix de Vie.

Les mesures du maximum horaire journalier en NO₂ à Saint Gilles Croix de Vie au cours des deux phases de mesure (Figure 5) permettent d’établir que :

- L’évolution des concentrations en NO₂ est synchrone sur l’ensemble des sites ;
- Le maxima horaire au cours de la campagne a été de 60,3 µg/m³ le 13 février, un niveau plus de 3 fois inférieur au seuil d’information et de recommandation ;
- **Aucun dépassement du seuil d’information et de recommandation**, et donc, du seuil d’alerte, n’a été enregistré durant la campagne de mesure, ni ailleurs dans la région ;
- **La valeur guide journalière préconisée par l’OMS** n’a jamais été dépassée au cours de la campagne.

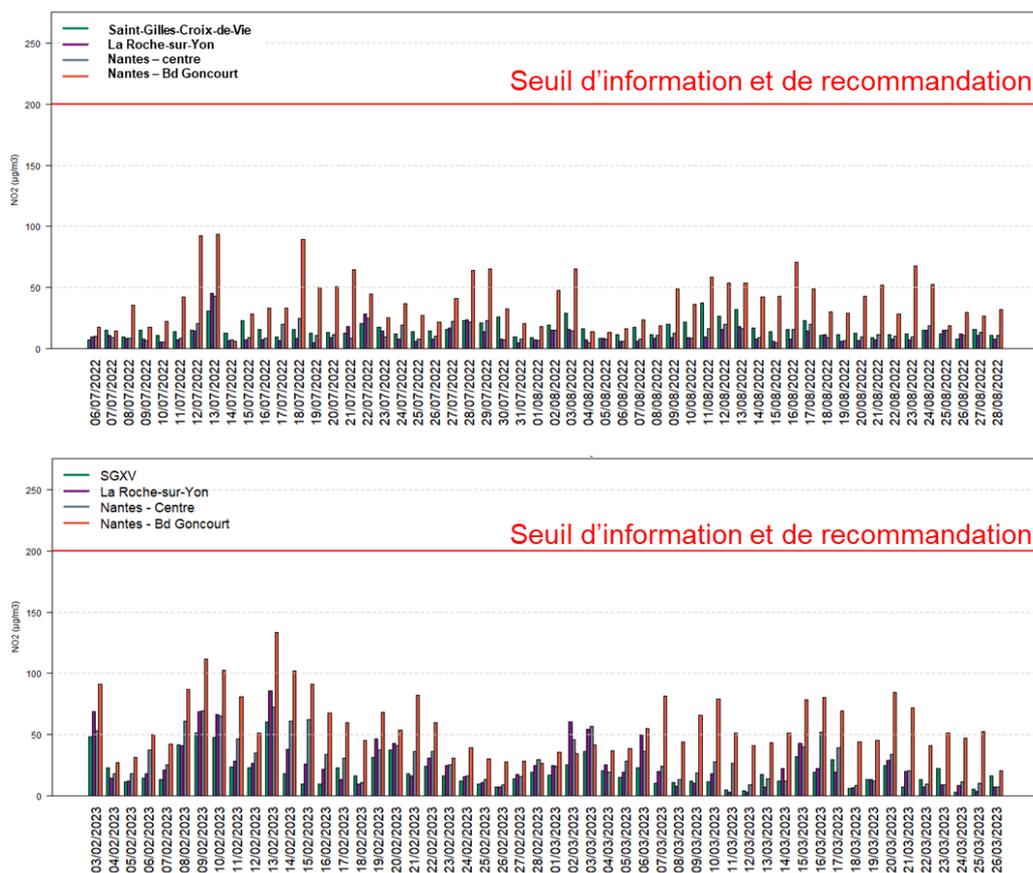


Figure 5 : évolution des maxima horaires journaliers des concentrations en NO₂ au cours de la phase estivale (haut) et hivernale (bas)

La figure 6 montre le profil journalier moyen des concentrations en NO₂ à Saint Gilles Croix de Vie, en comparaison avec les autres sites de mesure permanente.

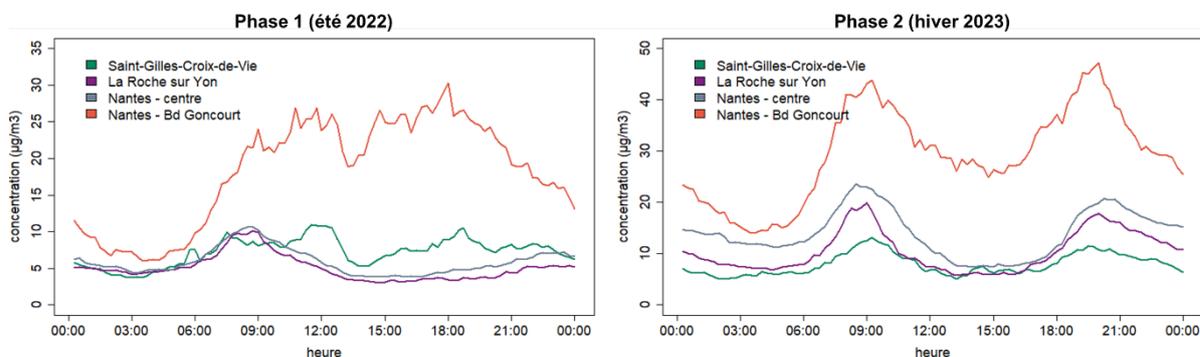


Figure 6 : évolution des concentrations en NO₂ au cours d'une journée moyenne à Saint Gilles Croix de Vie, par comparaison aux sites urbains de Nantes-centre et de La Roche-sur-Yon, et au site de trafic routier du Boulevard des Frères de Goncourt

Ces résultats montrent :

- Deux pics de concentrations journaliers, entre 8h et 9h puis entre 18h et 20h, en lien avec les trajets domicile-travail et particulièrement visibles en hiver ;
- Ces pics sont moins prononcés sur la station de Saint Gilles Croix de Vie que sur les autres stations de mesure en hiver, traduisant une moindre influence du trafic routier. À l'inverse, les concentrations moyennes journalières en été sont à un niveau intermédiaire entre les stations de fond urbain et la station de trafic routier du Boulevard des Frères de Goncourt, traduisant une influence plus forte du trafic lors de la saison touristique ;
- En situation estivale, le profil journalier à Saint Gilles Croix de Vie est à un niveau systématiquement plus élevé que par rapport aux sites urbains de La Roche-sur-Yon et Nantes, ce qui n'est pas observé en période hivernale. Cette observation suggère une influence des émissions liées au trafic touristique.

Particules inférieures à 10 µm : PM10

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

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

- Un **seuil d'information et de recommandation** fixé à 50 µg/m³ en moyenne journalière et un **seuil d'alerte** fixé à 80 µg/m³ en moyenne journalière ;
- Cette valeur journalière de 50 µg/m³ ne doit pas être dépassée plus de 35 jours par an (valeur limite en moyenne journalière) ;
- La moyenne annuelle de la concentration est elle aussi l'objet d'une **valeur limite**, fixée à 40 µg/m³,
- Un **objectif de qualité** fixé à 30 µg/m³ ;
- À titre d'information, l'OMS (2021) indique une valeur guide de 45 µg/m³ en moyenne journalière, et 15 µg/m³ en moyenne annuelle.

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot, les statistiques de mesure de PM10 au cours des deux phases de mesure. Les mesures effectuées à Saint Gilles Croix de Vie sont comparées à celles effectuées à Nantes (centre-ville, et boulevard des frères de Goncourt) ainsi qu'à La Roche-sur-Yon.

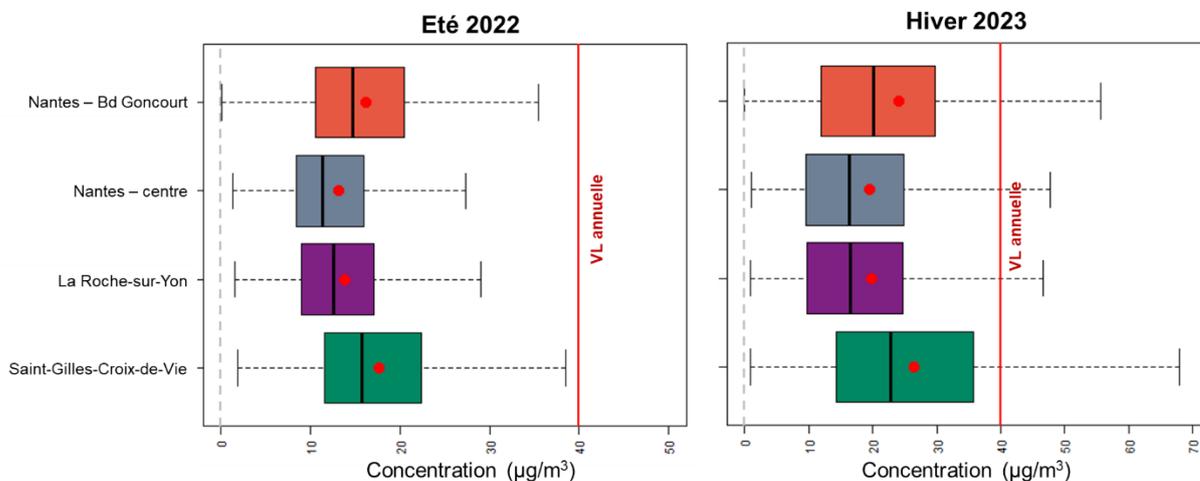
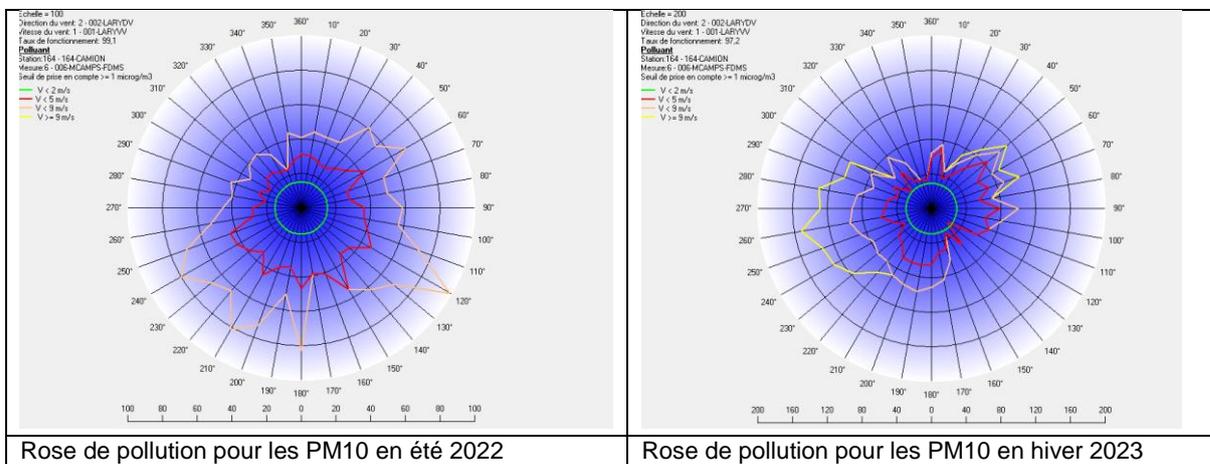


Figure 7 : boxplot des concentrations horaires en PM10 au cours de la phase estivale (à droite) et de la phase hivernale (à gauche). La valeur limite annuelle est représentée par le trait rouge

Ces résultats montrent que :

- Les moyennes sur les mesures estivales à Saint Gilles Croix de Vie ($17,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ont des niveaux supérieurs à ceux enregistrés à La Roche-sur-Yon et Nantes-centre (de $13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $13,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivement), et proches de ceux enregistrés au Boulevard des Frères de Goncourt ($16,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En hiver, les concentrations sont d'autant plus élevées, si bien que les mesures à Saint Gilles Croix de Vie ($26,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dépassent celles relevées au Boulevard des Frères de Goncourt ($24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Une influence des embruns marins par vents soutenus d'ouest-sud-ouest (cf. roses de pollution ci-dessous) permet d'expliquer ces niveaux plus élevés, compte tenu de la proximité du site de mesure avec l'océan.



- Les stations de mesure permanente de La Roche-sur-Yon et Nantes (centre-ville et Boulevard des Frères de Goncourt) respectent les seuils réglementaires annuels en 2022. Par comparaison, il est donc **probable** que la **valeur limite** ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et que l'**objectif de qualité** ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) soient respectés à Saint Gilles Croix de Vie au cours de l'année ;
- **Vis-à-vis des seuils préconisés par l'OMS**, par comparaison avec les sites de mesure permanente à La Roche-sur-Yon et Nantes, il est **probable** que la **valeur guide annuelle soit dépassée** à Saint Gilles Croix de Vie.

Les mesures de concentrations journalières de PM10 à Saint Gilles Croix de Vie (Figure 8) permettent d'établir que :

- L'évolution des concentrations journalières en PM10 est synchrone sur l'ensemble des sites, traduisant une influence régionale plutôt que locale ;
- **Le seuil d'information et de recommandation a été dépassé 2 journées à Saint Gilles Croix de Vie, les 15 février et 3 mars, en lien avec un épisode de pollution national aux particules fines. Le seuil d'alerte n'a jamais été atteint ;**
- Vis-à-vis des seuils préconisés par l'OMS, la valeur guide journalière est dépassée 5 journées sur le site de Saint Gilles Croix de Vie (les 9 et 15 février, puis les 3, 9 et 15 mars). Pour comparaison, ce seuil est dépassé 2 journées à La Roche-sur-Yon, 3 journées à Nantes-centre et 6 journées au Boulevard des Frères de Goncourt.

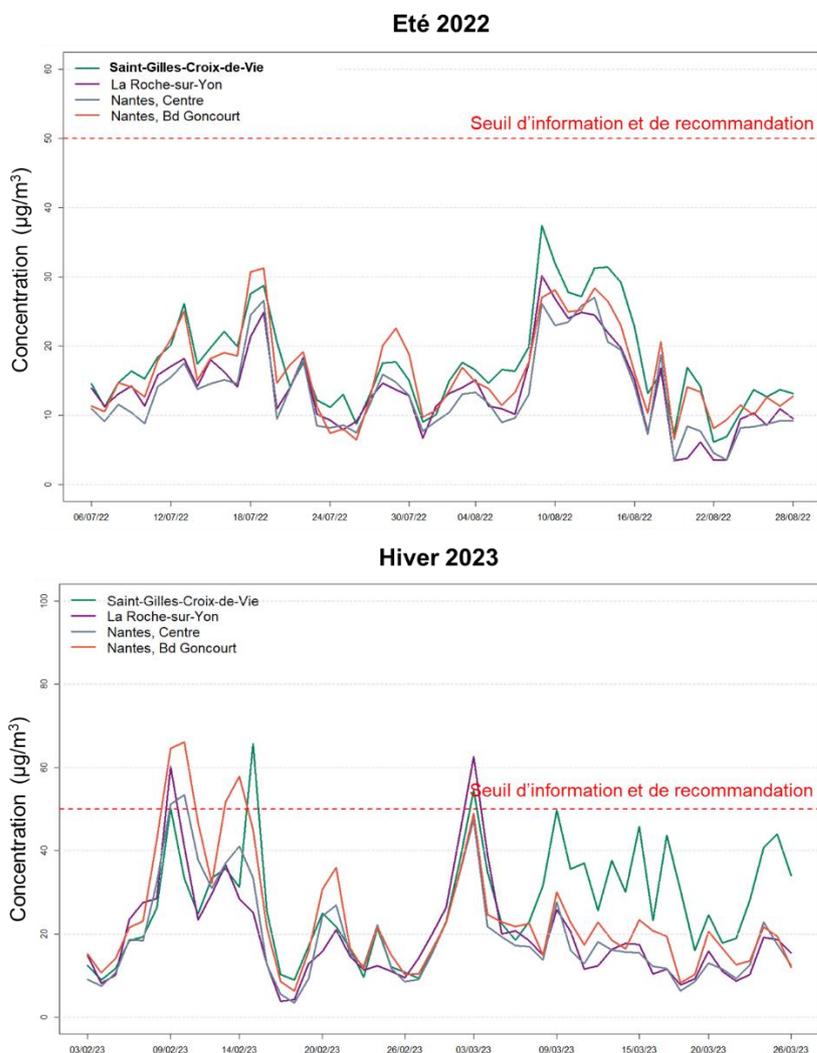


Figure 8 : moyenne journalière des concentrations en PM10 au cours de la phase estivale (haut) et hivernale (bas)

Particules inférieures à 2,5 µm : PM2.5

Les concentrations en particules PM2,5 sont soumises en France à trois seuils en valeur moyenne annuelle :

- Une **valeur limite annuelle** fixée à 25 µg/m³ ;
- Une **valeur cible pour la protection de la santé humaine** fixée à 20 µg/m³ ;
- Un **objectif de qualité** de 10 µg/m³ ;
- À titre d'information, l'OMS (2021) indique une valeur guide de 15 µg/m³ en moyenne journalière, et 5 µg/m³ en moyenne annuelle.

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot, les statistiques de mesure de PM2.5 sur les deux phases de mesure. Les mesures effectuées à Saint Gilles Croix de Vie sont comparées à celles effectuées aux centres-villes de Nantes et La Roche-sur-Yon, en milieu urbain de fond, et au boulevard des Frères de Goncourt à Nantes, en contexte de trafic routier.

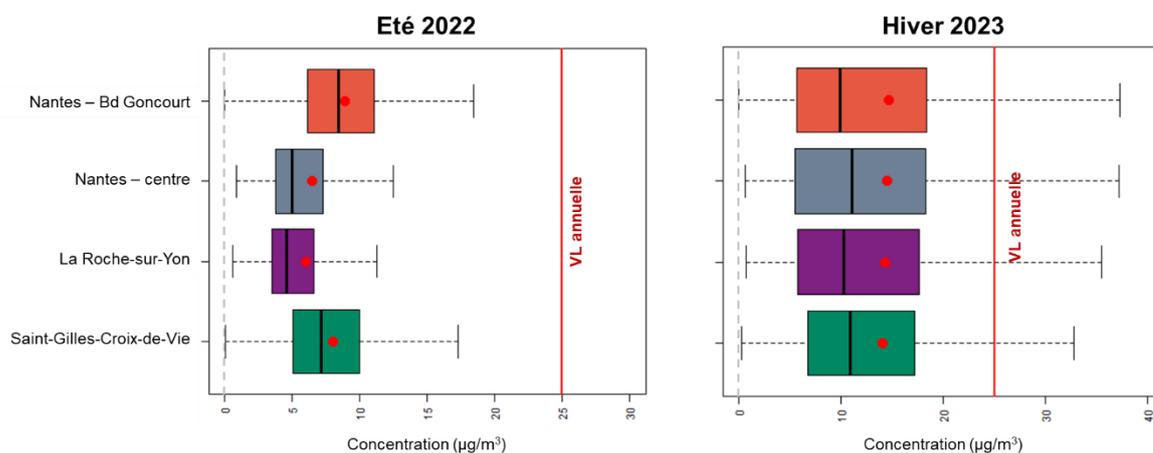


Figure 9 : boxplot des concentrations horaires en PM2.5 au cours de la phase estivale (à gauche) et de la phase hivernale (à droite). La valeur limite annuelle est représentée par le trait rouge

Ces résultats montrent une disparité dans les mesures en PM2.5 entre une situation estivale et hivernale. En été :

- Les concentrations moyennes à Saint Gilles Croix de Vie de 7,1 µg/m³ sont à un niveau intermédiaire entre celles enregistrées en milieu urbain à Nantes (6,5 µg/m³) et La Roche-sur-Yon (6,0 µg/m³), et celles enregistrées en contexte de trafic routier au boulevard des Frères de Goncourt (8,9 µg/m³).
- La dispersion des mesures à Saint Gilles Croix de Vie se rapproche de celle observée en contexte de trafic routier au boulevard des Frères de Goncourt plutôt que de celles observées en milieu urbain. Cela traduit des niveaux de pointe plus élevés à Saint Gilles Croix de Vie qu'au centre-ville de Nantes et La Roche-sur-Yon, caractéristique d'une qualité de l'air d'un milieu de fond urbain avec influence de trafic routier.

En hiver à l'inverse :

- Les concentrations moyennes sont homogènes entre les sites, comprises entre 14 µg/m³ et 14,7 µg/m³ ;
- La dispersion des mesures à Saint Gilles Croix de Vie est moindre que sur les autres sites, traduisant des concentrations de pointe moins élevées et une plus faible influence du trafic routier en cette saison.
- Par comparaison aux mesures moyennes annuelles des stations permanentes à Nantes et La Roche-sur-Yon, il est **fort probable que la valeur limite** (25 µg/m³) soit respectée à Saint Gilles Croix de Vie. En revanche, **l'objectif de qualité** (10 µg/m³) pourrait être atteint au cours de l'année.
- **Vis-à-vis des seuils préconisés par l'OMS**, par comparaison avec les sites de mesure permanente à La Roche-sur-Yon et Nantes, il est **probable que la valeur guide annuelle** (5 µg/m³ en moyenne annuelle) **soit dépassée** à Saint Gilles Croix de Vie.

À échelle journalière, l'évolution des moyennes journalières confirme ce comportement régional des particules fines, avec une évolution synchrone en PM2.5 entre les trois sites de mesure comme observé sur les PM10.

Vis-à-vis des seuils préconisés par l'OMS, la valeur guide journalière (15 µg/m³) est dépassée 18 jours au total sur la campagne (2 jours en été, 16 jours en hiver), soit pendant 17 % du temps de mesure. Lors de ces journées, les autres stations de mesure permanente enregistrent également un dépassement du seuil journalier OMS, traduisant une influence régionale.

Ozone (O₃)

 <p>La basse atmosphère contient naturellement peu d'ozone. Toutefois, en atmosphère polluée ce gaz se forme par réaction chimique entre gaz précurseurs (en particulier NO_x et COVNM). Ces réactions sont amplifiées par les rayonnements solaires ultraviolets.</p>	 <p>Les niveaux moyens en ozone sont les plus élevés au printemps (avril à juin) et les niveaux de pointe sont maximaux en période estivale (juillet et août). Les concentrations sont minimales en début de matinée et maximales en fin d'après-midi.</p>	 <p>Les concentrations restent faibles près des axes de circulation où certains gaz d'échappement détruisent l'ozone. Il peut présenter des niveaux élevés en milieu urbain éloigné des axes routiers, dans les quartiers périurbains et en zone rurale. Les zones littorales présentent des niveaux nocturnes et matinaux plus élevés.</p>	 <p>L'ozone est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque toux, altération pulmonaire ainsi que des irritations oculaires. Ses effets sont très variables selon les individus.</p>	 <p>L'ozone a un effet néfaste sur la végétation (rendement des cultures...) et sur certains matériaux (caoutchouc...). Il contribue également à l'effet de serre.</p>
---	---	--	--	---

Les concentrations en ozone sont réglementées par :

- Un seuil d'information et de recommandation fixé à 180 µg/m³ en moyenne horaire ;
- Un seuil d'alerte fixé à 240 µg/m³ en moyenne horaire, pour le 1^{er} seuil ;
- Un objectif de qualité fixé à 120 µg/m³ en moyenne 8-horaire ;
- *A titre d'information, l'OMS (2021) indique une valeur-guide de 100 µg/m³ en moyenne sur 8 heures.*

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot, les statistiques de mesure d'ozone sur les deux phases de mesure. Les mesures effectuées à Saint Gilles Croix de Vie sont comparées à celles effectuées aux centres-villes de Nantes et La Roche-sur-Yon, en milieu urbain, le site du Boulevard des Frères de Goncourt n'étant pas équipé d'un analyseur d'ozone.

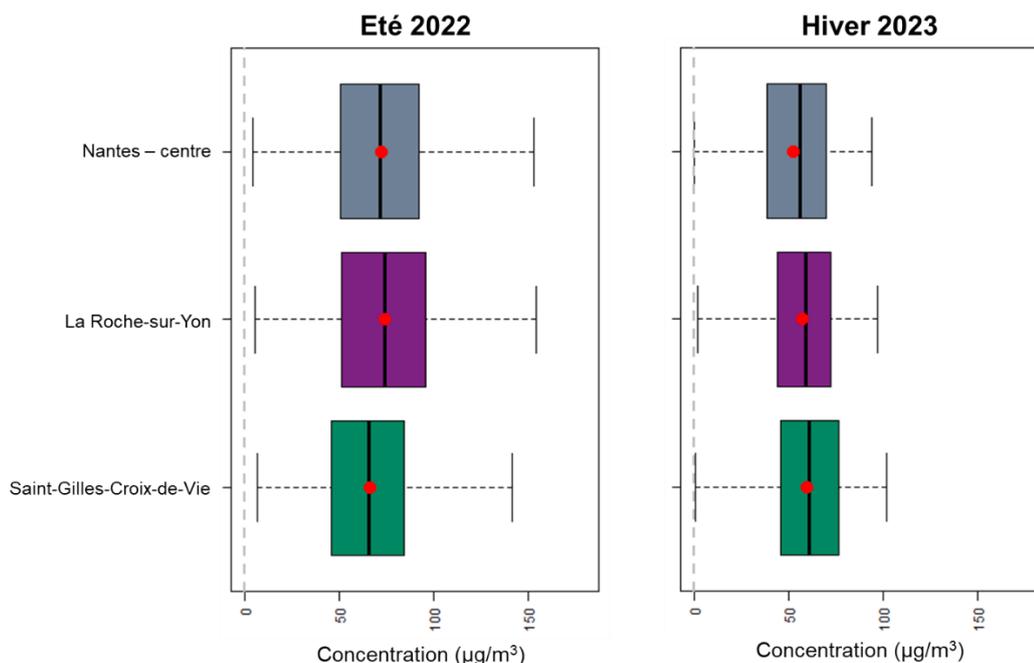


Figure 10 : boxplot des concentrations horaires en ozone au cours de la phase estivale (gauche) et hivernale (droite)

Ces résultats montrent que :

- Les concentrations moyennes horaires sont homogènes entre les 3 sites sur les 4 mois de mesure, comprises entre 62 µg/m³ et 65 µg/m³.
- L'ozone est régi par des phénomènes de grande échelle, notamment météorologiques, qui expliquent des niveaux homogènes à l'échelle régionale.
- L'ozone est un polluant qui entre en interaction avec le NO₂. Lorsque ce dernier est présent en plus forte quantité, il a pour effet de détruire les molécules d'ozone présentes localement. Ce phénomène est connu sous le nom de **titration d'ozone**. En été, les concentrations plus élevées en NO₂ à Saint Gilles Croix de Vie du fait d'une augmentation du trafic routier lors de la saison touristique peut expliquer que les teneurs en ozone soient 10 % plus faibles que sur les autres stations. En hiver à l'inverse, la baisse du trafic routier d'une part et l'import naturel d'ozone océanique d'autre part peut expliquer que les teneurs en ozone soient 9 % plus élevées que sur les autres stations.
- À Saint Gilles Croix de Vie, le seuil d'information et de recommandation – et a fortiori le seuil d'alerte, n'a jamais été atteint, le maximum horaire ne dépassant pas 142 µg/m³.

L'évolution de la concentration 8-horaire montre une évolution synchrone entre les 3 sites de mesure quelle que soit la saison (figure 11).

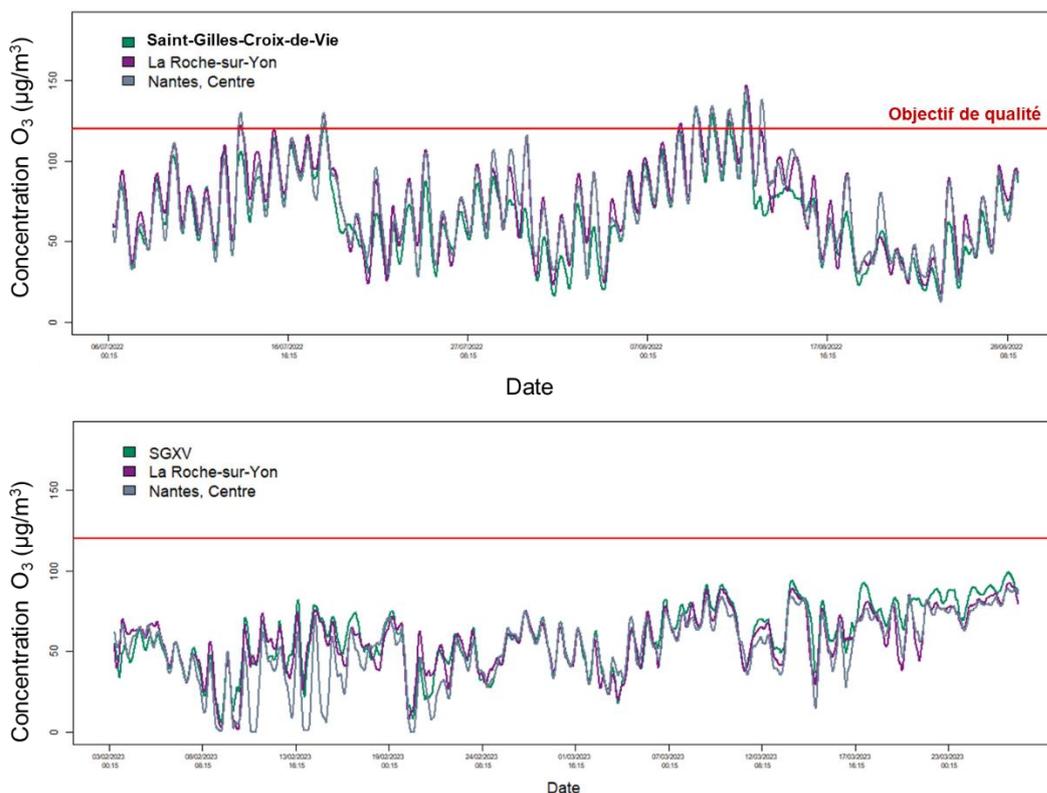


Figure 11 : évolution de la concentration moyenne 8-horaire en O₃ au cours de la phase estivale (haut) et hivernale (bas)

Ces résultats montrent en outre que :

- Le maximum de concentration 8-horaire a **dépassé l'objectif de qualité** à Saint Gilles Croix de Vie au cours de 5 journées estivales, avec un maximum de 137 µg/m³ enregistré le 12 août ;
- Cette journée est associée à une élévation des niveaux d'ozone sur l'ensemble du territoire régionale et plus largement sur la façade nord-ouest de la France, en lien avec une période de fort ensoleillement (figure 12) ;
- **Vis-à-vis des seuils préconisés par l'OMS**, la valeur guide en moyenne sur 8 heures a une forte probabilité d'être régulièrement dépassée au cours de l'été, quel que soit le site de mesure considéré.

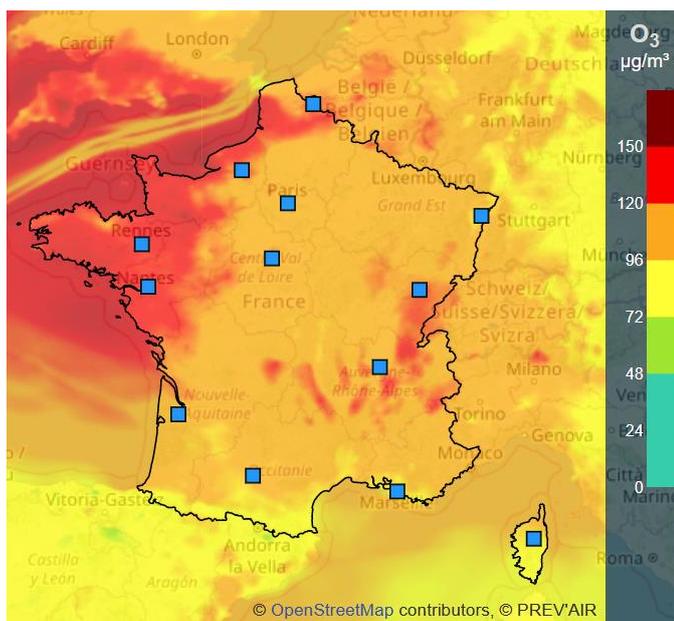


Figure 12 : carte des moyennes journalières en ozone en France pour la journée du 12 août 2022 (source : PREV'AIR)

Monoxyde de carbone (CO)



Les concentrations en monoxyde de carbone sont exprimées en mg/m³, et sont réglementées en moyenne glissante sur 8 heures selon :

- Une **valeur limite en moyenne 8-horaire** de 10 mg/m³, soit 10 000 µg/m³ ;
- À titre d'information, l'OMS (2021) préconise une valeur guide de 4 mg/m³ en moyenne journalière.

Le monoxyde de carbone, à l'instar du dioxyde d'azote, peut être utilisé comme traceur du trafic routier. Dans la mesure où ses concentrations sont faibles et souvent proches de la limite de détection de l'appareil de mesure, le CO n'est plus mesuré dans les stations automatiques d'Air Pays de la Loire, excepté depuis fin 2021 à la station de trafic à Nantes, située au boulevard des Frères de Goncourt. Cette station sert donc de comparaison aux mesures estivales.

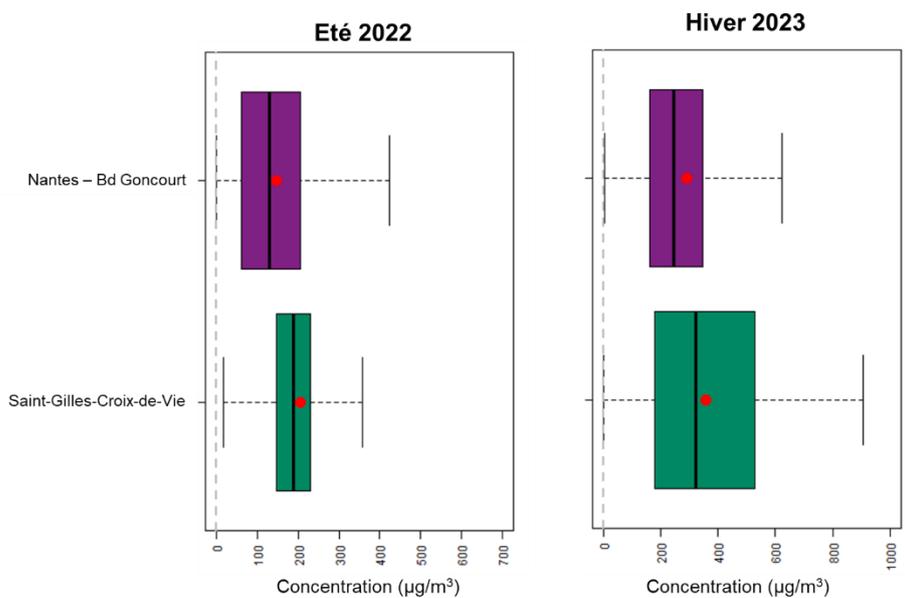


Figure 13 : boxplot des concentrations horaires en monoxyde de carbone au cours de la phase estivale (à gauche) et de la phase hivernale (à droite)

Les mesures de concentration en CO à Saint Gilles Croix de Vie montrent que :

- La concentration moyenne horaire en CO est de 280 µg/m³ sur l'ensemble des 4 mois de mesure, un niveau supérieur à celui relevé au Boulevard des Frères de Goncourt à Nantes (218 µg/m³). Ces niveaux sont toutefois peu représentatifs, les mesures étant proches des limites de quantification de l'appareil ;
- La concentration 8-horaire maximale a été de 1,0 mg/m³ (contre 1,6 mg/m³ au Boulevard des Frères de Goncourt à Nantes), un niveau dix fois inférieur à la valeur limite ;
- Vis-à-vis des seuils OMS, la valeur guide journalière (4 mg/m³) est également respectée sur la totalité de la campagne.

2^e Partie

Analyse des mesures par microcapteur

Dispositif déployé

Dans le même contexte que la campagne de mesure réalisée par le camion laboratoire, un dispositif complémentaire a été implanté sur le territoire afin de mesurer, pendant une période plus longue, les niveaux de polluant liés au trafic automobile sur un territoire qui voit sa population quadrupler en période estivale du fait de l'attractivité de son littoral.

Afin de répondre aux objectifs de l'évaluation, 6 microcapteurs² ont été déployés pour la mesure du dioxyde d'azote (NO₂) sur le territoire, polluant émis particulièrement par le trafic routier. L'analyse des particules PM10 et PM2.5 a aussi été ajoutée de par la capacité des microcapteurs sélectionnés à mesurer également ces polluants.

Les microcapteurs ont été déployés sur 3 sites de mesure afin de mesurer leur performance vis-à-vis des appareils réglementaires d'Air Pays de la Loire et leur niveau de reproductibilité :

- 2 sur le site de la Conserverie à 4 mètres du camion laboratoire en centre-ville (CV1 et CV2),
- 2 sur le site de La Cour Rouge en zone trafic (CR1 et CR2),
- 2 sur le site de l'école de voile de Boisvinet à proximité d'un axe d'accès aux plages (P1 et P2).

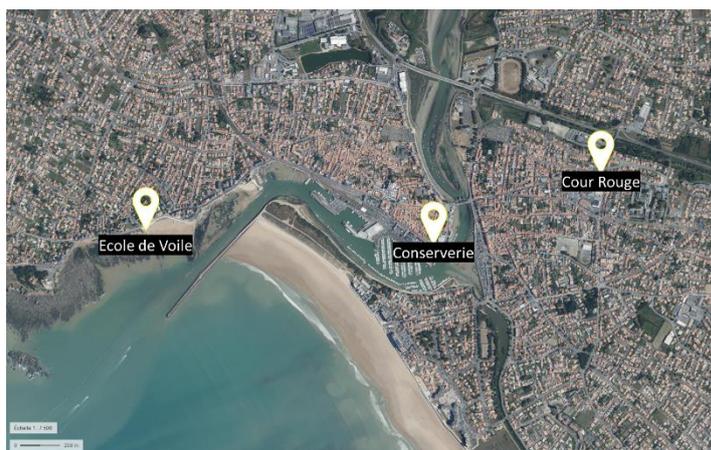


Figure 14 : 3 sites de mesure par microcapteur. Chaque site possède deux microcapteurs en doublon.

Période de mesure

Les mesures par microcapteur sont découpées en 2 phases d'environ 7 mois chacune. Pour chacune de ces phases, une période d'intercomparaison avec les mesures de référence a été effectuée au niveau du site de la Conserverie lorsque le camion-laboratoire y était implanté. Ces périodes d'intercomparaison ont été utilisées afin de tester la robustesse et la fiabilité des données fournies par microcapteur.

Suite aux résultats décevants de la 1^{re} génération de microcapteurs ELLONA WT1, ELLONA a fourni une 2^e génération de capteurs WT2 afin de faire un nouveau travail de test sur le NO₂.

	Période de mesure	Dont période d'intercomparaison
Phase 1 (Ellona, WT1)	29/06/2022 – 31/01/2023	Du 7/07 au 29/08/2022
Phase 2 (Ellona, WT2)	09/03/2023 – 27/03/2023	Du 9/03 au 27/03/2023
Phase 2 (Atmotrack)	01/02/2023 – 31/08/2023	Du 3/02 au 27/03/2023

² Mesures du NO₂ par capteur électrochimique, mesures des PM10 et PM2.5 par capteur optique.

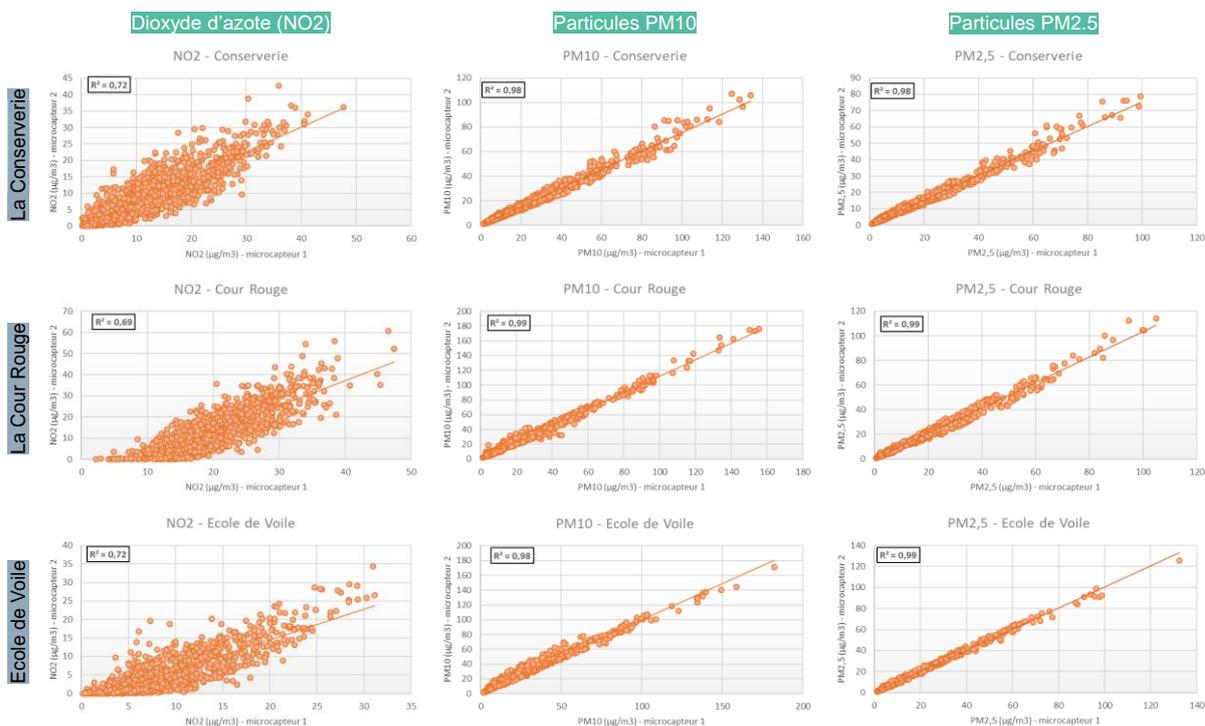
Résultats

Comparaison des microcapteurs entre eux

Les graphiques ci-dessous représentent les concentrations mesurées par les 2 microcapteurs Atmotrack positionnés en doublon sur un même site. Pour chacun des polluants, l'analyse présente le coefficient de détermination (R^2) qui permet de juger de la qualité de la régression linéaire : ce coefficient est compris entre 0 et 1, et croît avec l'adéquation de la régression au modèle. On considère que les mesures sont cohérentes lorsque le R^2 se situe entre 0,85 et 1.

Une analyse similaire a été effectuée sur les microcapteurs ELLONA (lors de la phase 1), et présentée en annexe.

ATMOTRACK Phase 2



Comparaison avec analyseurs de référence

La partie suivante présente les résultats de mesure obtenus par les microcapteurs en comparaison avec les mesures de référence du camion laboratoire pendant la même période, sur le site de la Conserverie.

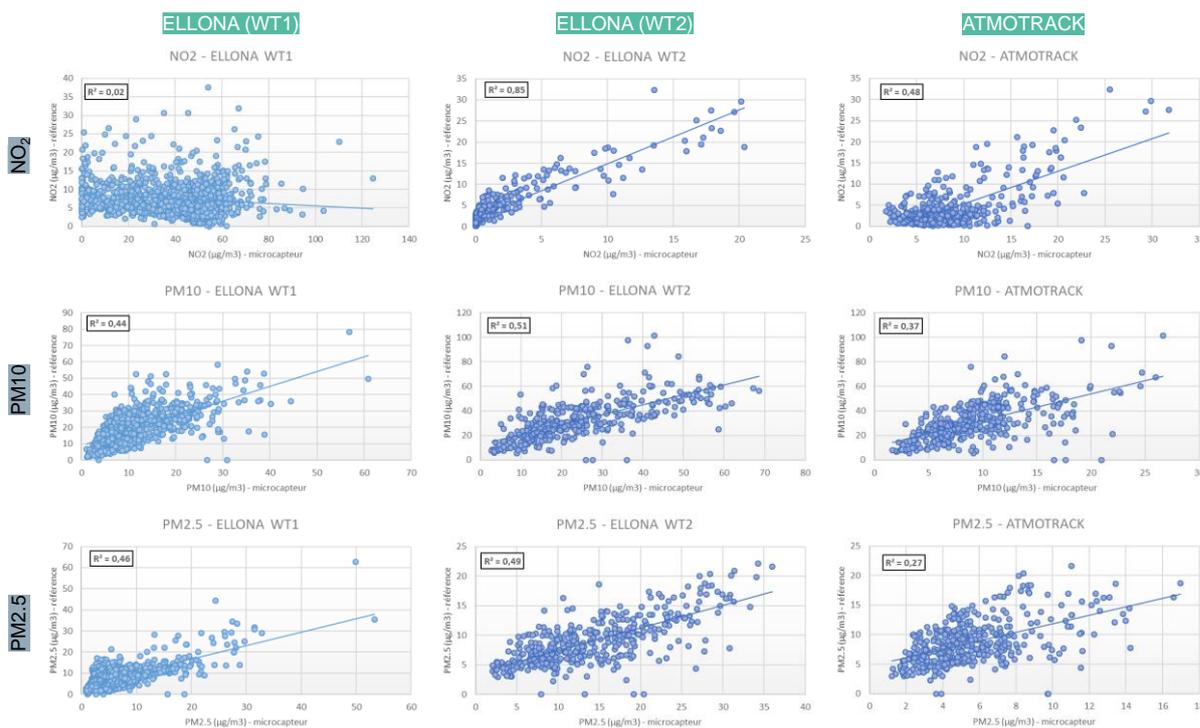


Figure 15 : droite de corrélation et coefficient de détermination entre les mesures par microcapteur et les mesures de référence, sur le site de la Conserverie. Chaque colonne représente un type de microcapteur déployé, chaque ligne représente un polluant mesuré

Ces résultats montrent que :

- Pour la 1^{re} génération de microcapteurs ELLONA WT1, le coefficient de détermination R² avec les mesures de référence de l'analyseur du camion laboratoire à la Conserverie est inférieur à 0,1 pour le NO₂, et inférieur à 0,5 pour les PM10 et les PM2.5. Ces résultats sont insatisfaisants pour considérer les mesures de ces microcapteurs comme fiables ;
- Dans ce contexte, le fournisseur Atmotrack a été testé afin d'effectuer les mesures de la phase 2. Le coefficient de détermination R² est amélioré pour la mesure du NO₂ (R² = 0,48), mais n'est pas amélioré pour les PM10 (R² = 0,37) et les PM2.5 (R² = 0,27) ;
- Suite aux résultats décevants de leur 1^{re} génération de microcapteurs la société ELLONA nous a transmis une seconde génération pour test. La corrélation est satisfaisante pour le dioxyde d'azote mais demeure encore insuffisante pour les particules.

Il est à noter que l'étude du coefficient de corrélation est un indicateur, parmi d'autres, qui permet d'établir le degré d'exactitude entre les données de microcapteurs et les données de référence. D'autres indicateurs ont été testés en se référant au protocole établi par *Fischbain et al.* (2017)³ et le challenge Airlab⁴. Les résultats de ces autres indicateurs sont détaillés en annexe 2, et rejoignent les conclusions énoncées précédemment.

Compte tenu de ces résultats d'intercomparaison (bonne corrélation des microcapteurs entre eux et mauvais avec les analyseurs de référence), une simple comparaison indicative des niveaux de concentration entre les 3 sites peut être effectuée.

³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716319799>

⁴ <https://airlab.solutions/projets/challenge-microcapteurs-edition-2021-90>

Mesures indicatives par microcapteur

Résultats pour le NO₂

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot, les statistiques de mesure de NO₂ au cours de la phase de mesure par microcapteur du 1^{er} février au 1^{er} septembre 2023, sur les 3 sites de la Conserverie, de la Cour Rouge et de l'École de Voile.

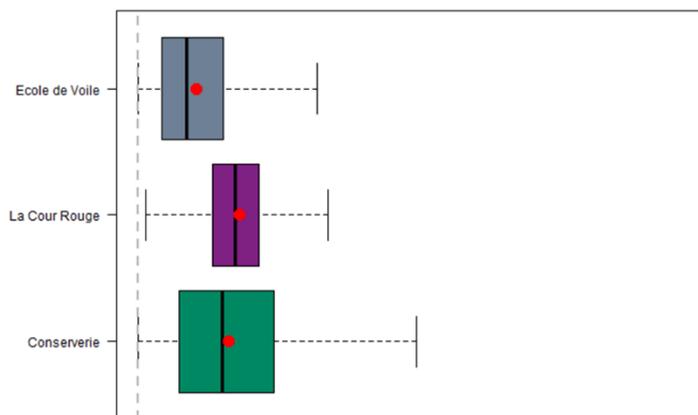


Figure 16 : boxplot des concentrations moyennes horaires en NO₂ mesurées par microcapteur, du 01/02/2023 au 01/09/2023

Ces résultats montrent que :

- les concentrations moyennes sont proches entre les sites de la Conserverie et de la Cour Rouge. Sur le site de l'école de voile, les concentrations plus basses (-35 % par rapport à la Conserverie) sont probablement liées à un moindre impact du trafic routier et à une dispersion plus favorable des polluants, ce site étant situé face à la mer et plus exposé à la brise marine.

Résultats pour les PM₁₀

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot, les statistiques de mesure de PM₁₀ au cours de la phase de mesure par microcapteur du 1^{er} février au 1^{er} septembre 2023, sur les 3 sites de la Conserverie, de la Cour Rouge et de l'École de Voile.

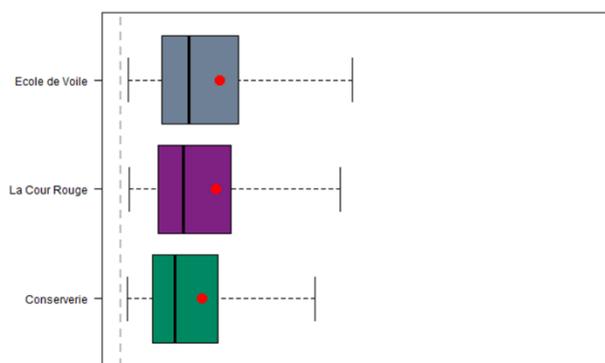


Figure 17 : boxplot des concentrations moyennes horaires en PM₁₀ mesurées par microcapteur, du 01/02/2023 au 01/09/2023

Ces résultats montrent que sur 7 mois de mesure :

- les concentrations moyennes et médianes en PM₁₀ sont proches entre les 3 sites.

Résultats pour les PM2.5

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot, les statistiques de mesure de PM2.5 au cours de la phase de mesure par microcapteur du 1^{er} février au 1^{er} septembre 2023, sur les 3 sites de la Conserverie, de la Cour Rouge et de l'École de Voile.

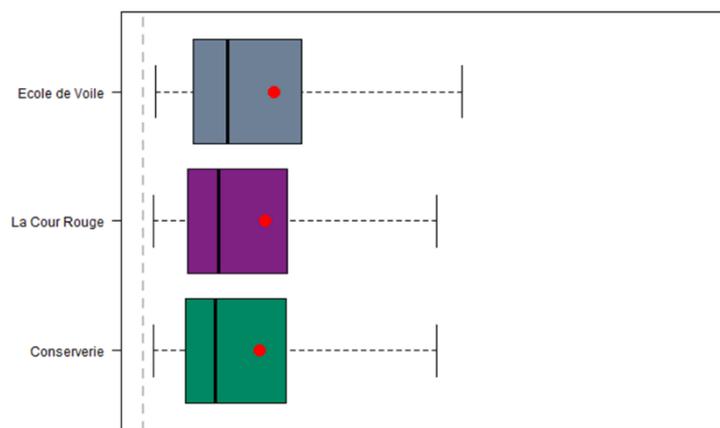


Figure 18 : boxplot des concentrations moyennes horaires en PM2.5 mesurées par microcapteur, du 01/02/2023 au 01/09/2023

Ces résultats montrent que :

- les concentrations moyennes et médianes sont homogènes entre les sites de mesure répartis à Saint-Gilles-Croix-de-Vie.

Conclusions et perspectives

Dans le cadre de son PCAET, le Pays de Saint Gilles Croix de Vie Agglomération a souhaité faire un diagnostic de sa qualité de l'air, en évaluant notamment l'impact de la saison touristique sur certains polluants réglementés. La saison estivale est caractérisée par une augmentation importante du nombre d'habitants dans la collectivité, engendrant *de facto* une augmentation des activités et notamment du trafic routier, source de dioxyde d'azote. Les principaux polluants réglementaires (PM10, PM2.5, NO₂, O₃, et CO) ont été mesurés pendant 4 mois en conditions météorologiques contrastées (été 2022 puis hiver 2023). En parallèle, Air Pays de la Loire a déployé à des fins expérimentales un réseau de microcapteurs sur le territoire de la collectivité, afin de mesurer les concentrations en NO₂, PM10 et PM2.5, qui sont comparées aux mesures effectuées par l'appareil de référence.

En termes de qualité de l'air à l'échelle de l'EPCI vis-à-vis de réglementation :

- L'objectif de qualité en ozone a été dépassé au cours de la campagne estivale, dans un contexte de forte chaleur et d'un épisode de pollution régional.
- Un épisode hivernal de pollution aux particules fines a concerné une grande partie de la France début février 2023. Dans ce contexte, 2 journées sont concernées par un dépassement du seuil d'information et de recommandation aux PM10. Des dépassements des valeurs guides journalières préconisées par l'OMS sont également observés, tant à Saint Gilles Croix de Vie que sur les stations permanentes d'Air Pays de la Loire.
- Les valeurs guides OMS annuelles ont de fortes probabilités d'être dépassées pour les particules PM10 et les PM2.5. L'ensemble des valeurs réglementaires et des valeurs guides sont respectées pour le NO₂.

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats pour les polluants réglementaires, en moyenne sur les 4 mois de mesure :

Polluant	Saint Gilles Croix de Vie	La Roche-sur-Yon	Nantes (Centre)	Bd des Frères de Goncourt (Nantes)	Probabilité de respect des seuils réglementaires*	Probabilité de respect valeurs guides OMS*
NO ₂ (µg/m ³)	7,6	7,8	10	24	😊	😊 annuel 😊 journalier
PM10 (µg/m ³)	22	17	16	20	😊 (seuils annuels) ☹️ seuil d'information (journalier)	😊 annuel ☹️ journalier
PM2.5 (µg/m ³)	11	10	11	12	😊 valeur limite ☹️ objectif de qualité	😊 annuel ☹️ journalier
O ₃ (µg/m ³)	63	65	62		😊 seuil d'information ☹️ objectif de qualité	☹️
CO (µg/m ³)	280	218			😊	😊

Tableau 2 : tableau de synthèse des résultats par polluant vis-à-vis des valeurs réglementaires

😊 = probabilité de respect de la valeur réglementaire ; ☹️ = probabilité de dépassement de la valeur réglementaire
☹️ = dépassement constaté de la valeur réglementaire.

* l'ensemble des valeurs réglementaires est rappelé en annexe 6

La saison estivale, avec une forte activité touristique, a un impact sur la qualité de l'air. Notamment :

- En juillet, les concentrations en NO₂ mesurées sur le territoire du Pays de Saint Gilles Croix de Vie sont représentatives d'un milieu urbain avec influence du trafic routier. En février à l'inverse, hors saison touristique, les concentrations en NO₂ ne montrent pas d'impact du trafic routier.

L'évaluation de la qualité des mesures par microcapteur montre que :

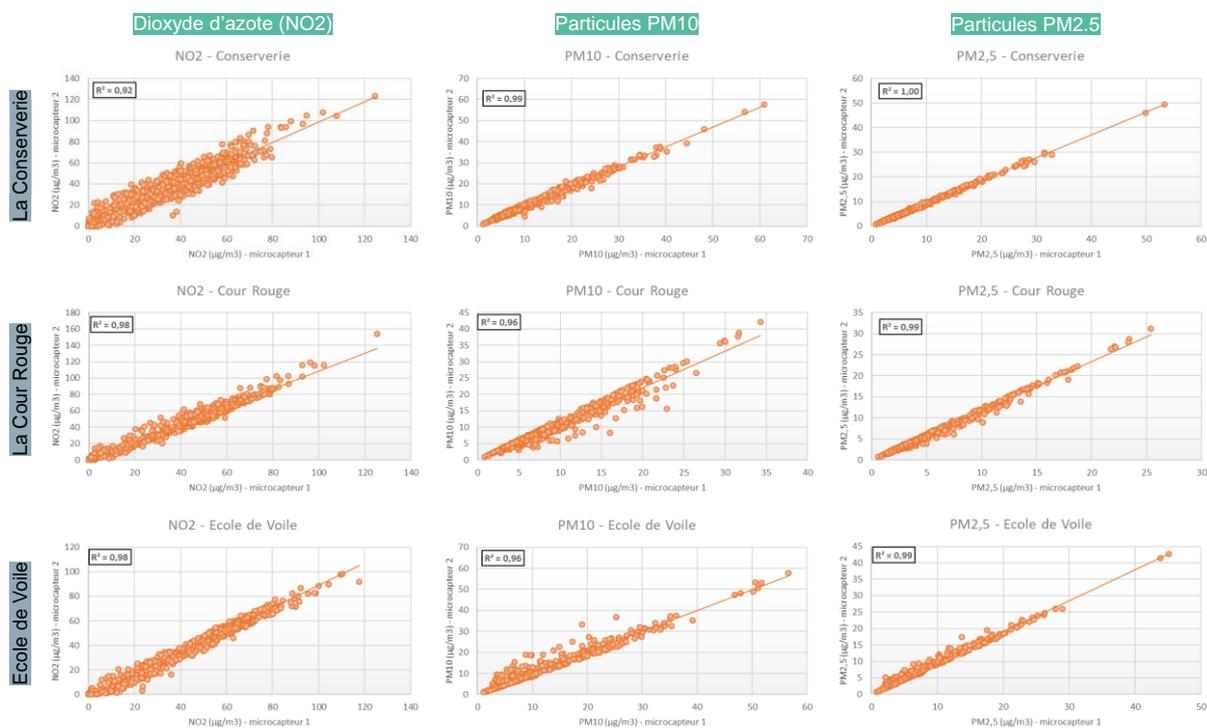
- La comparaison des mesures par microcapteur avec celles effectuées par analyseur automatique sont peu concluantes, (hormis pour la mesure du dioxyde d'azote avec le microcapteur Ellona de seconde génération) ;
- En revanche une bonne corrélation entre les mesures effectuées par les différents microcapteurs entre eux a été observée ;
- Les mesures sur 7 mois indiquent des niveaux homogènes pour les particules fines entre les trois sites investigués. Les mesures en NO₂ indiquent des concentrations plus basses sur le site de l'École de Voile par rapport aux autres sites, en lien avec une dispersion plus efficace des polluants sur ce site exposé à la brise marine.

Annexes

- Annexe 1 : comparaison des mesures par microcapteur ELLONA (phase 1)
- Annexe 2 : suivi des indicateurs d'intercomparaison système capteurs vs données de référence
- Annexe 3 : Air Pays de la Loire
- Annexe 4 : techniques d'évaluation
- Annexe 5 : types des sites de mesure
- Annexe 6 : polluants
- Annexe 7 : seuils de qualité de l'air 2024

Annexe 1 : comparaison des mesures par microcapteur ELLONA (phase 1)

ELLONA Phase 1



N.B. : pour le capteur ELLONA WT2 déployé lors de la phase 2, il n'y avait pas de mesure en doublon sur le même site. La comparaison ne peut être effectuée.

Annexe 2 : suivi des indicateurs d'intercomparaison système capteur vs. données de référence

Les indicateurs testés se réfèrent au protocole établi par *Fischbain et al. (2017)*⁵ et le challenge Airlab⁶ et sont : la *racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE)*, le *coefficient de corrélation de Pearson* (R), le *coefficient de corrélation de Kendall* (t) et le *coefficient de corrélation de Spearman* (S), la *Présence*, l'analyse de la *Source*, le résultat de correspondance *Match*, la métrique d'*énergie basses fréquence (LFE)*, et l'*indice de performance intégré (IPI)*. La *reproductibilité* est également établie entre les 2 microcapteurs Atmotrack colocalisés sur le site de la Conserverie. Ces indicateurs ont été établis à partir de l'ensemble des données de concentration horaire.



⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716319799>

⁶ <https://airlab.solutions/projets/challenge-microcapteurs-edition-2021-90>

Annexe 3 : 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.

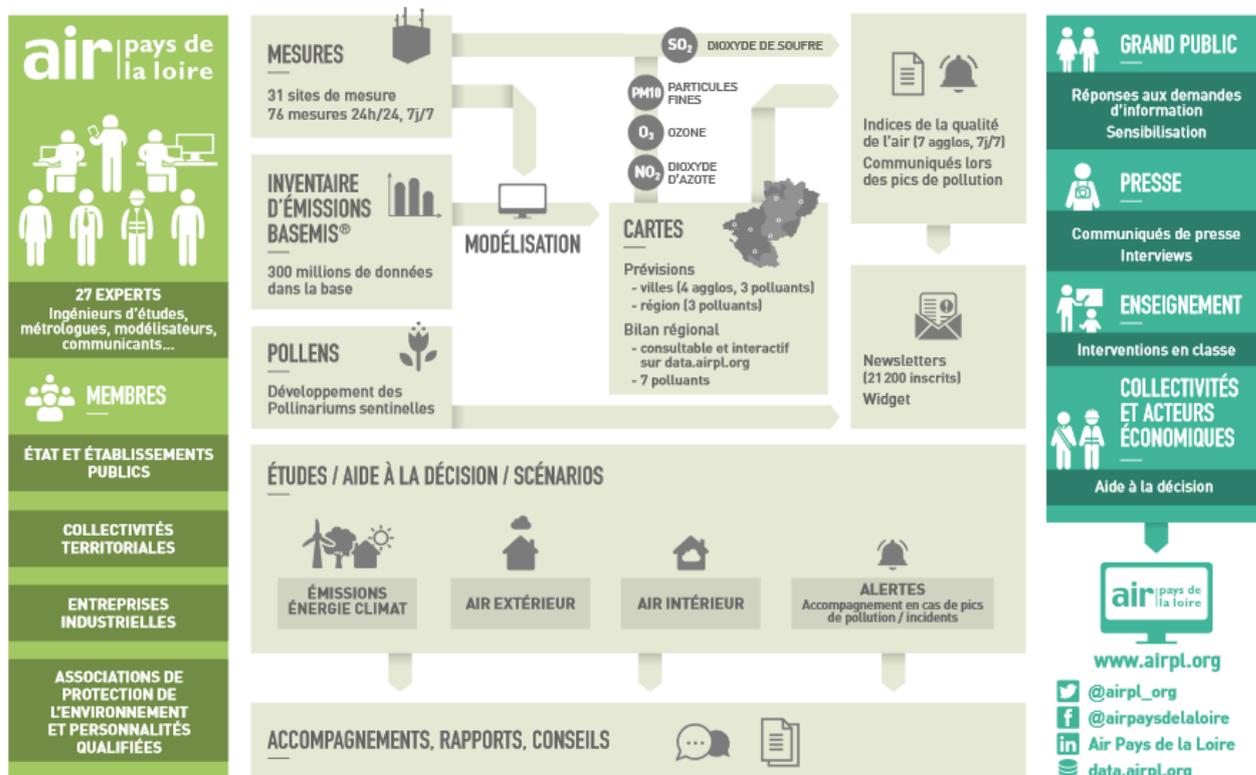
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- 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.



Annexe 4 : techniques d'évaluation

Mesures des concentrations atmosphériques en dioxyde d'azote

méthode - normes

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

pas de temps

Tous les quarts d'heure.

étalonnage

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

Mesures des concentrations atmosphériques en ozone

méthode - normes

L'ozone est mesuré par la technique de spectrométrie d'absorption UV selon la norme **NF EN 14625**.

pas de temps

Tous les quarts d'heure.

étalonnage

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

Mesures des concentrations atmosphériques en monoxyde de carbone

méthode - normes

Le monoxyde de carbone est détecté par la technique d'absorption infrarouge – norme **NF EN 14626**.

pas de temps

Tous les quarts d'heure.

étalonnage

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

Mesures des concentrations atmosphériques en particules PM10 et PM2,5

méthode – normes

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

pas de temps

Tous les quarts d'heure.

Annexe 5 : types des sites de mesure

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



sites urbains

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



sites périurbains

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



sites de trafic

Les sites de trafic sont localisés près d'axes de circulation importants, souvent fréquentés par les piétons ; ils caractérisent la pollution maximale liée au trafic automobile.



sites industriels

Les sites industriels sont localisés de façon à être soumis aux rejets atmosphériques des établissements industriels ; ils caractérisent la pollution maximale due à ces sources fixes.



sites ruraux

Les sites ruraux participent à la surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond (notamment photochimique).

Annexe 6 : polluants

L'ozone (O₃)

C'est le polluant secondaire majeur qui se forme par l'action des ultraviolets du soleil sur les polluants primaires, directement émis par les sources, que sont les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone. C'est un polluant chimique présent au niveau du sol : on parle d'ozone troposphérique que l'on distingue de l'ozone stratosphérique, observé à une vingtaine de kilomètres d'altitude et qui forme la couche d'ozone.

Capable de pénétrer profondément dans les poumons, l'ozone provoque à forte concentration une inflammation et une hyperréactivité des bronches. Des irritations du nez et de la gorge surviennent généralement, accompagnées d'une gêne respiratoire. Des irritations oculaires sont aussi observées.

Les enfants dont l'appareil respiratoire est en plein développement, les asthmatiques, les insuffisants respiratoires chroniques et les personnes âgées sont souvent plus sensibles à la pollution par l'ozone.

Les effets de l'ozone se trouvent accentués par les efforts physiques intenses, lesquels en augmentant le volume d'air inspiré, accroissent celui d'ozone inhalé.

Les oxydes d'azote (NO_x)

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

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

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

Les particules fines (ou poussières)

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

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

Le monoxyde de carbone (CO)

Ce gaz provient des combustions incomplètes. Il est émis en grande partie (60 %) par le chauffage urbain, collectif ou individuel. Le trafic routier, vient en deuxième position avec 31 % des émissions. Dans l'atmosphère, il se combine en partie et à moyen terme avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone (CO₂). On le rencontre essentiellement au niveau du sol à proximité des sources d'émission. Il participe avec les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, à la formation d'ozone troposphérique.

Le CO est dangereux car non décelable. Son effet toxique se manifeste à de très faibles concentrations en exposition prolongée. Le CO est principalement un poison sanguin. Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Les premiers symptômes de l'intoxication sont les seuls signaux d'alarme : maux de tête, une vision floue, des malaises légers, des palpitations. Si les concentrations de CO sont élevées, l'intoxication se traduit par des nausées, des vomissements, des vertiges ou, plus grave, un évanouissement puis la mort. La gravité de l'intoxication dépend de la quantité de CO fixé par l'hémoglobine. Elle est donc liée à plusieurs facteurs : la concentration de CO dans l'air, la durée d'exposition et le volume respiré.

Annexe 7 : seuils de qualité de l'air 2024

SEUILS DE DÉCLENCHEMENT DES ÉPISODES DE POLLUTION

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

TYPE DE SEUIL (µg/m³)	DURÉE CONSIDÉRÉE	POLLUANTS			
		OZONE (O ₃)	DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	PARTICULES FINES (PM10)	DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)
Seuil de recommandation et d'information	Moyenne horaire	180	200	-	300
	Moyenne 24-horaire	-	-	50	-
Seuil d'alerte	Moyenne horaire	240 ⁽¹⁾ 1 ^{er} seuil : 240 ⁽²⁾ 2 ^{ème} seuil : 300 ⁽²⁾ 3 ^{ème} seuil : 360	400 ⁽³⁾ 200 ⁽³⁾	-	500 ⁽²⁾
	Moyenne 24-horaire	ou à partir du 2 ^e jour de prévision de dépassement du seuil de recommandation et d'information (persistance)		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 ⁽¹⁾	-	-	-	125 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	200 ⁽⁴⁾	-	-	-	-	-	350 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-
Objectif de qualité	Moyenne annuelle	-	40	-	30	10	2	-	50	0,25	-	-	-	-
	Moyenne journalière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AOT 40	6 000 ⁽⁶⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valeur cible	AOT 40	18 000 ⁽⁶⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne annuelle	-	-	-	-	20	-	-	-	0,006	0,005	0,02	0,001	
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	120 ⁽⁷⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(1) pour la protection de la végétation
(2) à ne pas dépasser plus de 35 par an (percentile 95,4 annuel)
(3) à ne pas dépasser plus de 3 par an (percentile 99,2 annuel)
(4) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,79 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.

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



AIR PAYS DE LA LOIRE

5 rue Édouard-Nignon
CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3
Tél + 33 (0)2 28 22 02 02
Fax + 33 (0)2 40 68 95 29
contact@airpl.org

air | pays de
la loire
www.airpl.org