



© DREAL Pays de la Loire, Arcadis, SCE



QUALITE DE L'AIR en proximité du périphérique-est de Nantes

Mesures des polluants atmosphériques en été et en hiver

État initial, avant travaux



Sommaire

Introduction	4
Synthèse	5
Méthodologie	7
Résultats de mesure	10
Particules fines PM10	11
Particules fines PM2,5	13
Les dioxydes d'azote NO ₂	15
Les dioxydes de soufre SO ₂	18
Le benzène et 1,3-butadiène	23
Les HAP	25
Les Métaux	26
Conclusions et perspectives	27
Annexes	28

contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Kristan Cuny-Guirriec,
Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire et Sonia Cécile,
Validation : François Ducroz et Céline Puente-Lelièvre.

conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code l'environnement, précisé par l'arrêté du 1^{er} août 2019 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 l'entreprise Le Kube pour sa contribution à l'installation du matériel de mesure.

Introduction

Dans le cadre du projet d'aménagement du complexe de Bellevue, situé sur le périphérique-est de Nantes, la DREAL des Pays de la Loire a lancé des études d'opportunité. Parmi celles-ci, l'état initial de la zone d'étude est conduit par SCE Environnement, qui s'est rapproché d'Air Pays de la Loire afin de réaliser le volet qualité de l'air de cet état initial. Il vise à évaluer la qualité de l'air dans la situation actuelle, avant réaménagement de la zone.

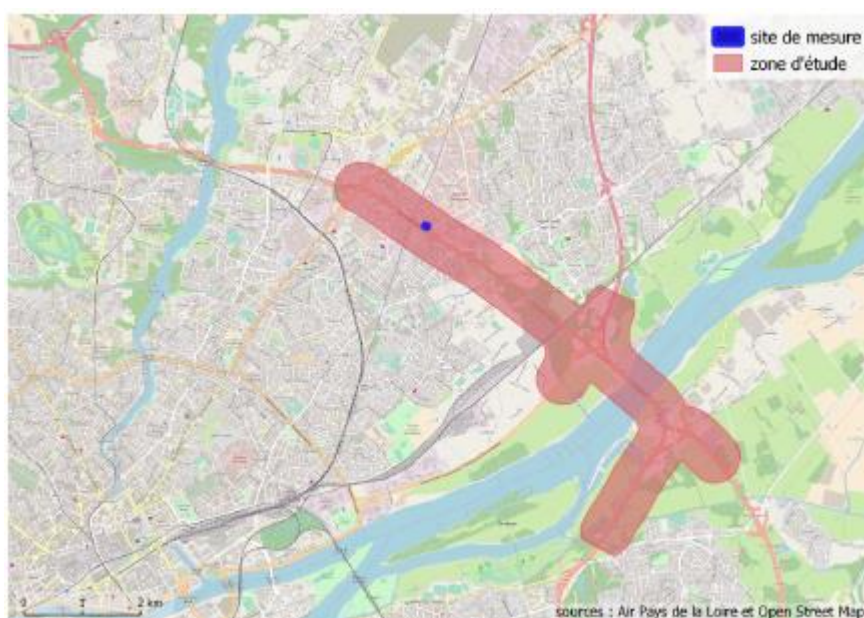
Une première campagne de mesure a été effectuée en 2018¹.

Suite à l'évolution de la note méthodologique portant sur l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routières², SCE Environnement a sollicité Air Pays de la Loire afin de mettre en œuvre une nouvelle campagne basée sur les recommandations de cette note.

Cette campagne complète celle effectuée en 2018, en y ajoutant les mesures de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

La période d'échantillonnage a également été modifiée, passant de 2 périodes de 3 semaines en 2018, à 2 périodes de 4 semaines pour cette étude, afin de rendre les résultats plus représentatifs d'une année complète.

La carte ci-dessous représente la zone concernée par l'étude d'impact (en rose) ainsi que l'emplacement de la station de mesure (en bleu) :



¹ Air Pays de la Loire, *Qualité de l'air en proximité du périphérique est de Nantes*, Juin 2018

² CEREMA, *Guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières*, Février 2019

Synthèse

Contexte

La DREAL Pays de la Loire prévoit de réaménager le complexe de Bellevue et du périphérique-est de Nantes. Dans le cadre de l'étude d'impact de ce projet, Air Pays de la Loire a été sollicité par SCE Environnement afin de réaliser une évaluation de la qualité de l'air à proximité de cet axe, en suivant le guide méthodologique du CEREMA (2019). L'objectif est de compléter les mesures effectuées en 2018, et d'effectuer un état des lieux avant travaux.

Dispositif de mesure

Deux campagnes de mesure se sont tenues en conditions météorologiques contrastées : du 27 août au 28 septembre 2020 (campagne estivale) et du 25 janvier au 28 février 2022 (campagne hivernale).

Au cours de ces campagnes ont été déployés, à proximité immédiate du périphérique (20 m) entre les portes de Carquefou et de Sainte-Luce :

- Un laboratoire mobile permettant de mesurer en automatique les particules fines (PM10 et PM2,5), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) ;
- Deux préleveurs permettant de mesurer sur filtre les teneurs en métaux (Arsenic, Chrome et Nickel) et en HAP (16 HAP dont le B(a)P) ;
- Des tubes à diffusion passive permettant de mesurer les concentrations en benzène et 1,3-butadiène.

Résultats

Le tableau suivant présente les résultats par polluant et la situation par rapport à la réglementation :

Polluants	Moyenne pendant la campagne		Respect des seuils d'information/alerte		Probabilité de respect des valeurs réglementaires		
	été 2020	hiver 2022	Seuil d'information	Seuil d'alerte	Valeur limite	Objectif de qualité	Valeur cible
Particules fines PM10	8,8 µg/m ³	20,1 µg/m ³	☺	☺	☺	☺	
Particules fines PM2,5	5,7 µg/m ³	11,4 µg/m ³			☺	☹	☺
Dioxyde d'azote NO ₂	15 µg/m ³	23,8 µg/m ³	☺	☺	☺	☺	
Dioxyde de soufre SO ₂	1,1 µg/m ³	0,9 µg/m ³	☺	☺	☺		
Monoxyde de carbone CO	0,07 mg/m ³	0,29 mg/m ³			☺		
COVNM	2,9 ng/m ³	78,0 ng/m ³					
Arsenic As	0,4 ng/m ³	0,4 ng/m ³					☺
Nickel Ni	0,07 ng/m ³	0,13 ng/m ³					☺
Chrome Cr	0,06 ng/m ³	1,13 ng/m ³					
Benzo(a)Pyrène B(a)P	< 0,02 ng/m ³	0,17 ng/m ³					☺
Benzene C ₆ H ₆	0,36 µg/m ³	0,94 µg/m ³			☺	☺	
1,3-butadiène	0,07 µg/m ³	0,05 µg/m ³					

Tableau 1 : tableau de synthèse des résultats par polluants vis-à-vis des valeurs réglementaires
☺ = probabilité de respect de la valeur réglementaire ; ☹ = probabilité de dépassement de la valeur réglementaire

Les mesures à proximité du périphérique-est montrent :

- Un contraste saisonnier, avec des concentrations plus élevées en hiver qu'en été pour l'ensemble des polluants étudiés ;
- Des concentrations souvent intermédiaires avec celles relevées au centre de Nantes ou aux abords des grands axes de trafic, pour l'ensemble des polluants, témoignant d'un niveau de fond urbain avec influence du trafic ;
- Des concentrations en baisse par rapport à celles relevées lors de la campagne de 2018, pour l'ensemble des substances, excepté le monoxyde de carbone.

Conclusions

Les concentrations mesurées à proximité du périphérique-est sont typiques d'un niveau de fond urbain avec influence du trafic routier. Les niveaux de dioxyde d'azote et de monoxyde de carbone sont les plus représentatifs des activités de trafic, avec des élévations ponctuelles aux heures de pointe. Les concentrations relevées au cours de cette campagne sont globalement inférieures à celles relevées en 2018.

Méthodologie

Dispositif de mesure

Afin de répondre aux objectifs, le dispositif suivant a été installé à proximité immédiate de la zone d'étude de réaménagement, au niveau du périphérique-est :

- Un laboratoire mobile, équipé d'analyseurs automatiques, permettant un suivi en temps réel des niveaux de polluants dans l'air, avec un pas d'échantillonnage tous les quarts d'heure. Sont mesurés en continu : les particules fines PM10 et PM2,5 ; le dioxyde d'azote NO₂ ; le dioxyde de soufre SO₂ ; le monoxyde de carbone CO, et les composés organiques volatils non méthaniques COVNM ;
- Un préleveur Partisol permettant un suivi des métaux Arsenic (As), Nickel (Ni) et Chrome (Cr), avec un pas d'échantillonnage de 7 jours intégrés. Les résultats obtenus correspondent donc à des concentrations moyennes sur 7 jours ;
- Un préleveur haut débit DA80 permettant l'analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dont le B(a)P qui est réglementé, avec un pas d'échantillonnage journalier. Les résultats obtenus correspondent donc à des moyennes sur une journée ;
- Des tubes à diffusion passive permettant l'analyse des niveaux en COV : benzène et 1,3-Butadiène. Le pas d'échantillonnage est de 7 jours intégrés, les résultats obtenus correspondent donc à des concentrations moyennes sur 7 jours.

Site de mesure

Le dispositif a été installé à proximité immédiate du projet de réaménagement du périphérique-est et du complexe de Bellevue. Le laboratoire mobile et l'ensemble des instruments de mesure ont été déployés sur le parking d'une salle de sport, à 20 m du périphérique et en surplomb de celui-ci d'environ 4 mètres, entre la Porte de Carquefou et la Porte de Sainte-Luce.

Ce site de mesure a été validé par la DREAL Pays de la Loire en comité de suivi des études d'opportunité.

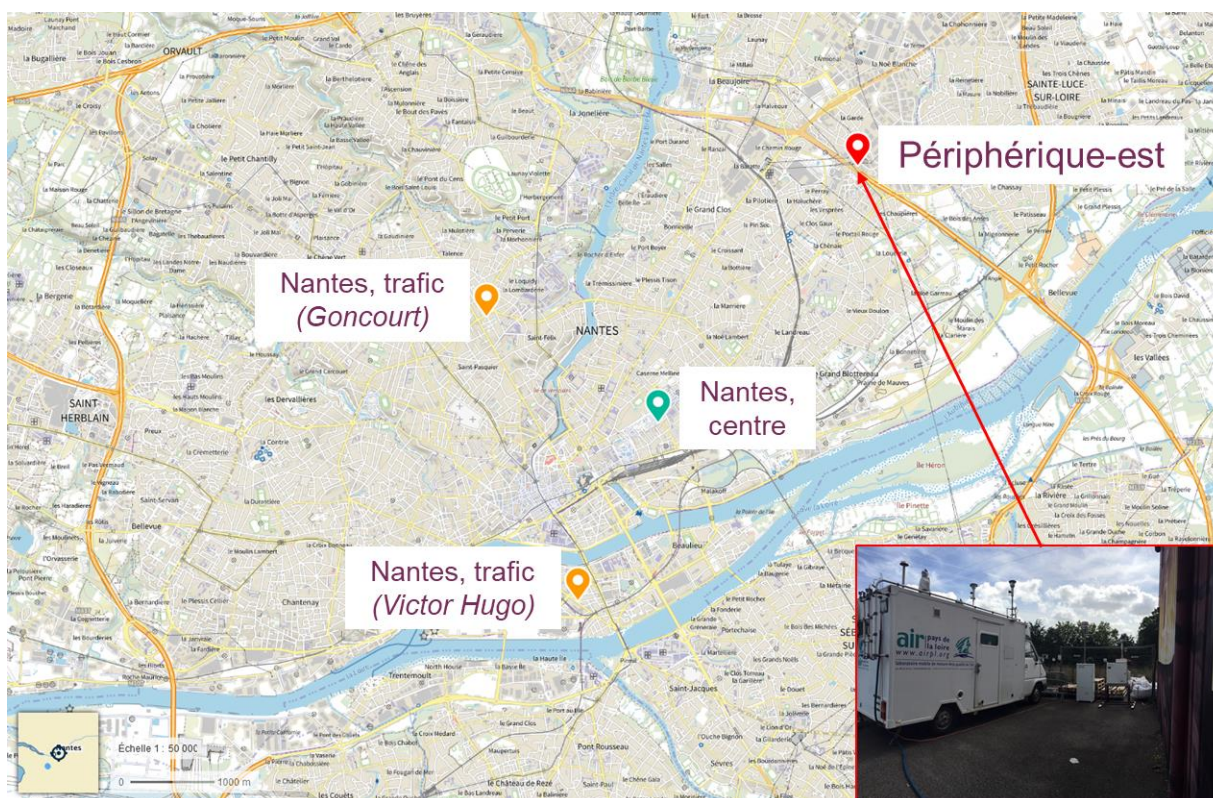


Figure 1 : localisation sur carte IGN du site de mesure au périphérique-est (balise rouge) où ont été implantés les instruments de mesure (photo associée). Les sites des stations de mesures permanentes d'Air Pays de la Loire sont également montrés, pour comparaison avec les sites de trafic (balises orange) et le fond urbain (balise verte)

Sites de comparaison

Le site de mesure à proximité du périphérique-est a été comparé à 4 autres sites de mesure permanentes d'Air Pays de la Loire, situés hors-influence du périphérique :

- Nantes – centre : cette station, située au Cimetière de la Bouteillerie, mesure les PM10, PM2,5, NO₂ et CO en automatique. Des prélèvements de métaux (Arsenic, Nickel) et de B(a)P y sont également effectués. Elle est représentative du fond urbain ;
- Nantes – trafic (*Victor Hugo*) : cette station était implantée au Boulevard Victor Hugo, sur l'île de Nantes, jusqu'en 2021, elle est donc utilisée comme site de comparaison pour la campagne estivale (2020) uniquement. Elle mesure en automatique les polluants PM10, PM2,5, NO₂, CO, et est représentative du trafic routier ;
- Nantes – trafic (*Goncourt*) : cette station est implantée Boulevard des Frères Goncourt depuis 2021, et remplace la station Victor Hugo. Elle est donc utilisée comme site de comparaison pour la campagne hivernale (2022) uniquement. Elle mesure en automatique les polluants PM10, PM2,5, NO₂ et CO, et est représentative du trafic routier ;
- Saint-Nazaire (*Léon Blum*) : cette station est implantée à Saint-Nazaire et mesure en automatique le SO₂, elle est représentative du fond urbain.

Périodes de mesure

Conformément à la méthodologie du CEREMA (2019), la campagne de mesure s'est déroulée en deux périodes afin de disposer de conditions météorologiques contrastées et avoir une meilleure représentativité des mesures sur l'année :

- Du 27 août au 28 septembre 2020, en condition estivale, 33 jours ;
- Du 25 janvier au 28 février 2022, en condition hivernale, 35 jours.

A noter qu'en raison de la crise sanitaire et des mesures gouvernementales au cours des années 2020 et 2021, les périodes ont subi des décalages par rapport aux dates initialement prévues. La campagne hivernale intègre 2 semaines de congés scolaires, ce qui justifie l'extension des mesures à 5 semaines au lieu de 4 afin de renforcer la représentativité des mesures en situation normale de trafic.

Taux de validité des mesures

Le tableau ci-dessous donne les taux de disponibilité des mesures sur les 2 campagnes :

	Campagne estivale	Campagne hivernale
<i>PM10</i>	97,8 %	99,4 %
<i>PM2,5</i>	92,6 %	99,3 %
<i>NO₂</i>	95,2 %	99,3 %
<i>SO₂</i>	93,3 %	97,9 %
<i>CO</i>	93,1 %	97,3 %
<i>COVNM</i>	97,7 %	93,9 %
<i>B(a)P</i>	100,0 %	100,0 %
<i>Métaux</i>	100,0 %	100,0 %
<i>Benzène</i>	100,0 %	100,0 %
<i>1,3 – butadiène</i>	100,0 %	100,0 %

Le taux de fonctionnement pendant les deux campagnes sont conformes aux exigences réglementaires, qui stipule une disponibilité de 85 % au minimum des données pour considérer les mesures comme représentatives³.

³ Guide méthodologique « Calcul des statistiques relatives à la qualité de l'air », LCSQA, juin 2016

Conditions Météorologiques

Les paramètres météorologiques utilisés au cours des 2 campagnes sont issues de la station Météo-France de Nantes-Atlantique, située à 13 km du site de mesure au périphérique-est.

Au cours de la campagne estivale, la température moyenne sur les 4 semaines de mesure a été de 17,8°C. Elle a été de 7,7°C lors des 5 semaines de la campagne hivernale. Des températures plus froides favorisent de plus fortes émissions issues du trafic routier (notamment des voitures à moteur thermique) et du tertiaire (chauffage urbain). Les conditions hivernales sont généralement plus favorables à l'accumulation des polluants.

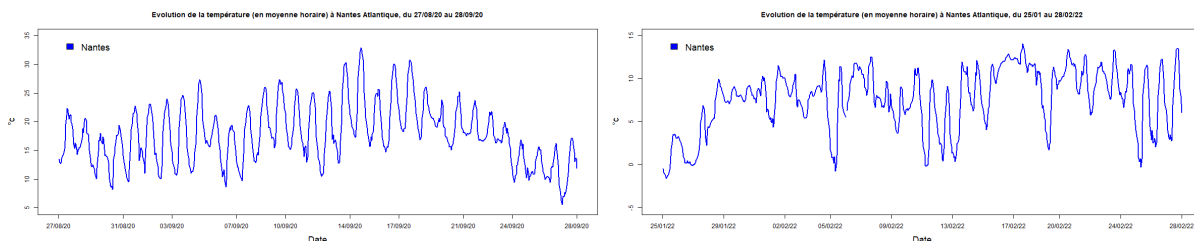
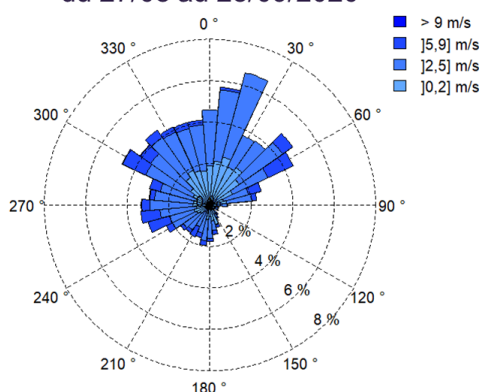


Figure 2 : évolution des températures moyennes du 27 août au 28 septembre 2020 (à gauche) et du 25 janvier au 28 février 2022 (à droite). Source des données : station Météo-France de Nantes-Atlantique

Les vents ont marqué une différence de composante entre les deux campagnes, avec une composante majoritairement nord pour la campagne estivale, puis majoritairement sud-ouest pour la campagne hivernale, avec des vents plus établis.

Rose des vents à l'aéroport Nantes-Atlantique du 27/08 au 28/09/2020



Rose des vents à l'aéroport Nantes-Atlantique du 25/01 au 28/02/2022

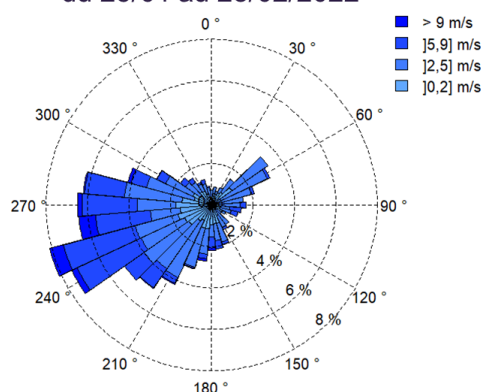


Figure 3 : roses de vents au cours de la campagne estivale 2020 (à gauche) et hivernale 2022 (à droite). Source des données : station Météo-France de Nantes-Atlantique

Le site de mesure est placé sous les vents en provenance du périphérique pour des vents compris entre 130°N et 290°N, avec un maximum à 220°N. La direction préférentielle des vents en provenance du sud-ouest au cours de la campagne hivernale place donc les appareils de mesure de manière plus optimale afin d'évaluer au mieux l'influence du périphérique sur les polluants mesurés.

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.

Résultats de mesure

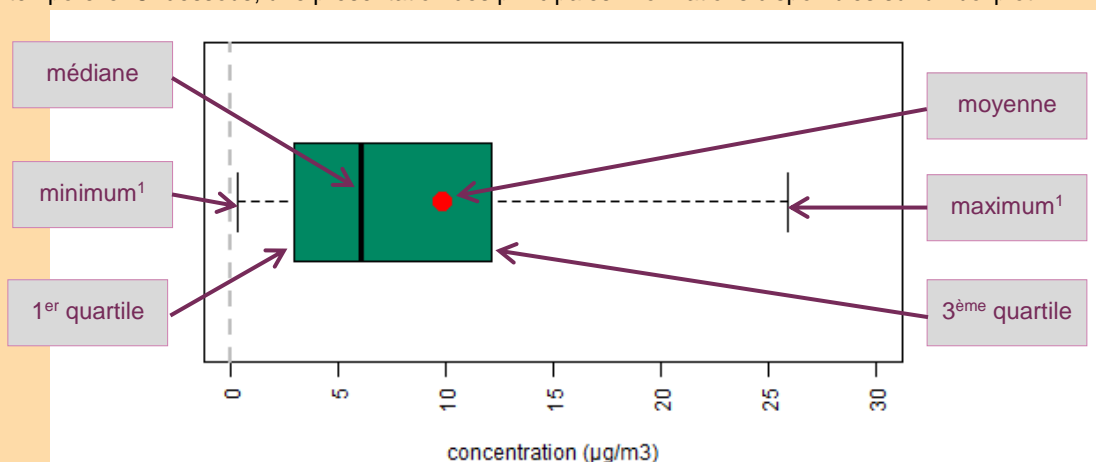
Méthodologie générale

Deux objectifs sont poursuivis :

- Comparer les niveaux de pollution mesurés à proximité du périphérique aux niveaux enregistrés sur d'autres stations nantaises du réseau permanent de surveillance d'Air Pays de la Loire, notamment le site urbain de référence (cimetière de la Bouteillerie) ou le site en proximité de trafic (Boulevard Victor Hugo et Boulevard des Frères Goncourt à Nantes).

Pour cet objectif, les mesures sont comparées entre elles graphiquement, par exemple au travers de l'évolution moyenne du niveau de polluant au cours d'une journée ou d'une semaine, ou au travers de représentations dites boxplots (boîtes à moustache).

Un boxplot est une représentation des principales caractéristiques statistiques d'un jeu de données, elle permet de rapidement visualiser la manière dont se comporte une série de mesures en occultant les motifs d'évolution temporelle. Ci-dessous, une présentation des principales informations disponibles sur un boxplot.⁴



50 % des valeurs mesurées se situe entre le 1^{er} quartile et le 3^{ème} quartile, la largeur de la boîte correspond donc à la dispersion de la série de mesures.

- Le deuxième objectif est d'étudier la situation de la qualité de l'air en proximité du périphérique, au regard des seuils réglementaires. Ces seuils sont présentés en annexe. La réglementation vise différents indicateurs pour la surveillance :
 - ➔ Des valeurs limites sont définies par les directives européennes, notamment les directives 2004/107/CE et 2008/50/CE. Ces valeurs limites peuvent concerner des moyennes annuelles de concentrations ou un nombre limité de dépassement de certains seuils en moyenne horaire ou journalière. Ces valeurs doivent obligatoirement être respectées,
 - ➔ Des objectifs de qualité, propres à la réglementation française sont définis comme des niveaux à atteindre et à maintenir à long terme, par la mise en œuvre de mesures proportionnées. Il n'y a donc pas la même contrainte pour l'atteinte des objectifs de qualité et des valeurs limites,
 - ➔ Des valeurs cibles, notamment pour les métaux Arsenic et Nickel, qui sont des valeurs moyennes à respecter afin de préserver la santé humaine.
 - ➔ Des seuils de recommandation et d'information et des seuils d'alerte. Il s'agit de valeurs en moyenne horaire ou en moyenne journalière qui, lorsqu'elles sont dépassées, entraînent la mise en œuvre de mesures ciblées pour limiter, à court terme, l'impact de la pollution.

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

⁴ En cas de valeurs aberrantes, le minimum et le maximum peuvent être remplacés par une valeur intermédiaire.

Particules fines PM10



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

- Un **seuil d'information et de recommandation** fixé à 50 µg/m³ en moyenne journalière et d'un **seuil d'alerte** fixé à 80 µg/m³ en moyenne journalière ;
- Cette valeur journalière de 50 µg/m³ ne doit pas être dépassée plus de 35 jours par an (valeur limite en moyenne journalière) ;
- La moyenne annuelle 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 sur les campagnes estivale et hivernale, totalisant 9 semaines de mesure. Les mesures effectuées à proximité du périphérique sont comparées au niveau de fond urbain (Nantes, Centre) et à un autre site de mesure de trafic routier (Nantes, boulevard Victor Hugo et Nantes, boulevard Frères Goncourt), hors influence du périphérique.

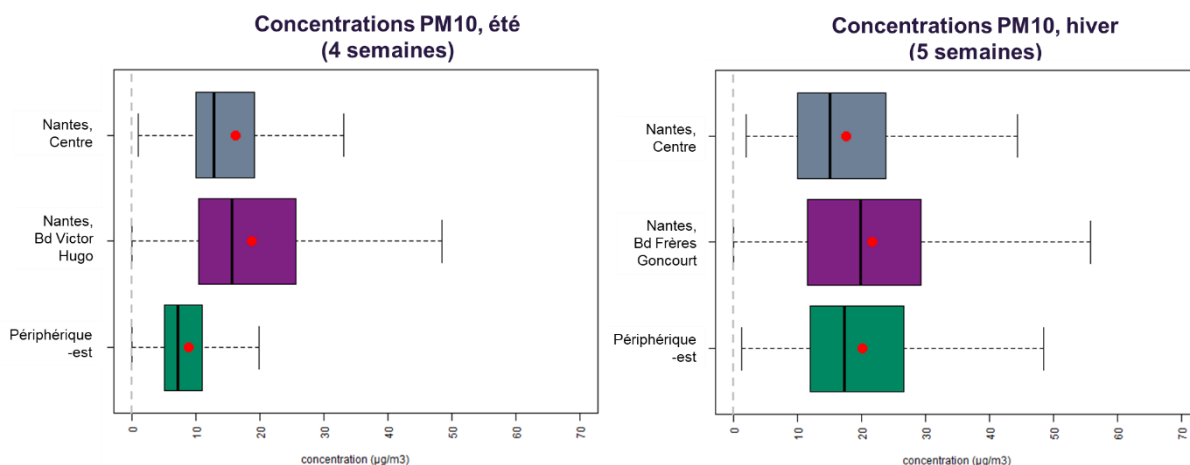


Figure 4 : boxplot des concentrations moyennes (données horaires) en PM10 sur l'ensemble de la campagne estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

Lors de la campagne estivale, les concentrations en particules fines PM10 relevées à proximité du périphérique ont des niveaux légèrement inférieurs (8,9 µg/m³ en moyenne) à ceux relevés sur les autres sites nantais (16,2 et 18,8 µg/m³ à Nantes – Centre et à Nantes – Bd Victor Hugo, respectivement). Cette différence pourrait s'expliquer par la configuration du site, qui profite d'une aération plus efficace permettant une plus grande dispersion des polluants.

Les concentrations en PM10 enregistrent des niveaux plus élevés en hiver qu'en été, quel que soit le site de mesure, et les concentrations sont similaires entre les 3 sites, situés entre 17,6 et 21,7 µg/m³ en moyenne. Cela s'explique par une augmentation des émissions de PM10 aux niveaux régional et national en hiver, ce polluant étant émis en grande partie par le trafic et le chauffage, et par des conditions météorologiques plus favorables à l'accumulation des polluants. C'est en effet en hiver que se produisent régulièrement des couches d'inversion thermique, c'est-à-dire des températures plus faibles en surface qu'en altitude, conduisant à un emprisonnement des particules fines à la surface. Cette situation météorologique se retrouve particulièrement en fin de campagne, à partir du 20/02, et conduit à une élévation des concentrations journalières en PM10.

Les figures ci-dessous montrent l'évolution des concentrations journalières en PM10 au cours des 2 campagnes, sur les 4 sites de mesure. Le seuil d'information (moyenne journalière) n'y est jamais dépassé, quel que soit le site considéré.

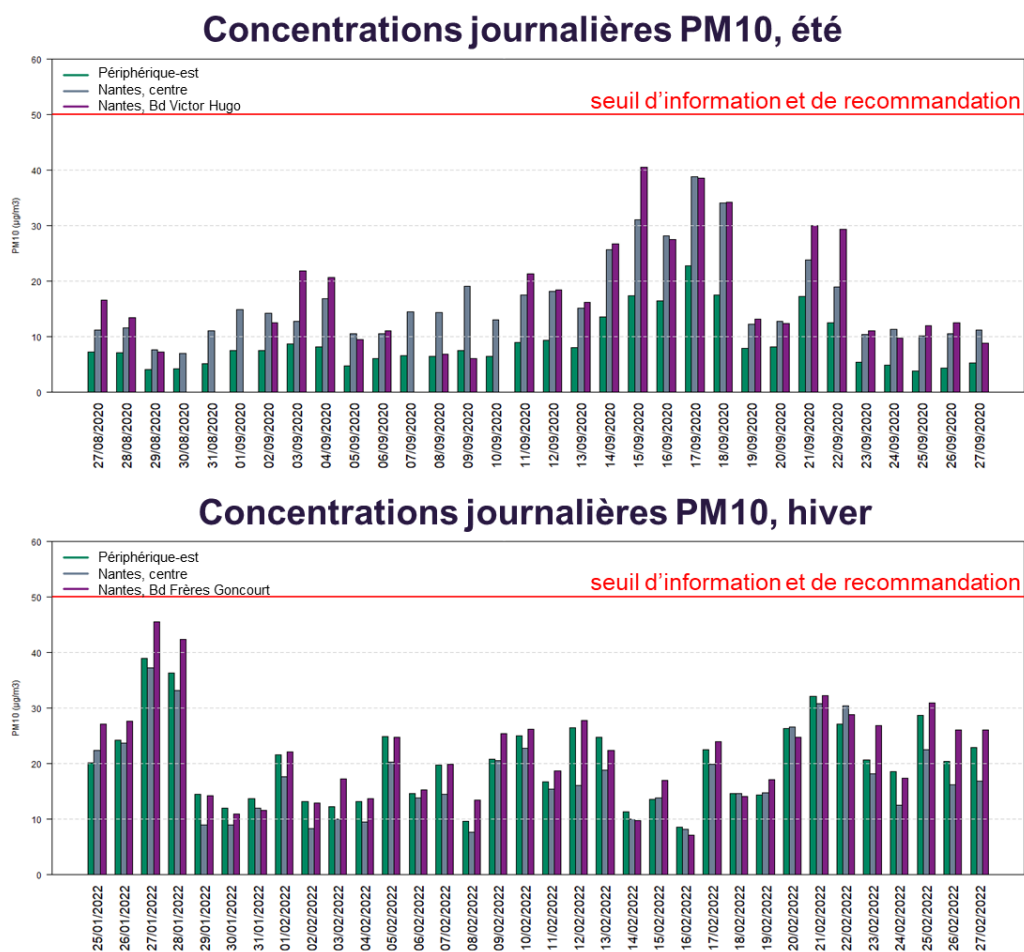


Figure 5 : évolution temporelle des concentrations moyennes journalières en PM10 au cours des campagnes estivale (en haut) et hivernale (en bas). Le seuil d'information (en moyenne journalière) est indiqué en rouge

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats pour les PM10 :

		Moyenne sur la campagne (µg/m ³)	Maximum jour (µg/m ³)	Maximum horaire (µg/m ³)
Campagne estivale	Périphérique	8,9	22,8	33,4
	Nantes, Centre	16,2	38,9	48,4
	Nantes, Bd Victor Hugo	18,8	40,6	110
Campagne hivernale	Périphérique	20,1	38,9	99,0
	Nantes, Centre	17,6	37,3	81,3
	Nantes, Bd Frères Goncourt	21,7	45,6	95,2

Les mesures en PM10 au cours de ces 2 campagnes montrent :

- Aucun dépassement du seuil d'alerte et du seuil d'information, pendant les 9 semaines de mesure ;
- Des concentrations à proximité du périphérique-est proches de celles relevées sur les stations permanentes du réseau Air Pays de la Loire, en particulier lors de la campagne hivernale, représentatives du fond urbain et du trafic routier ;
- Les stations permanentes de Nantes respectent les valeurs limites et l'objectif de qualité en moyenne annuelle, il est donc considéré comme fort probable que les concentrations en PM10 au niveau du périphérique respectent également ces seuils au cours de l'année.

Particules fines 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Une **valeur cible pour la protection de la santé humaine** fixée à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Un **objectif de qualité** de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- À titre d'information, l'OMS (2021) indique une valeur guide de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière, et 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

Les mesures des concentrations en PM2,5 à proximité du périphérique-est sont proches des concentrations relevées sur les autres sites de Nantes.

Un effet saisonnier est également visible sur l'ensemble des sites. Par exemple à proximité du périphérique-est, les concentrations moyennes sont plus élevées en hiver (11,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) qu'en été (5,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ce comportement est lié à la fois à des émissions plus importantes de particules fines en période hivernale, en lien avec le chauffage, et à la fois aux conditions météorologiques moins favorable à la dispersion des polluants en hiver.

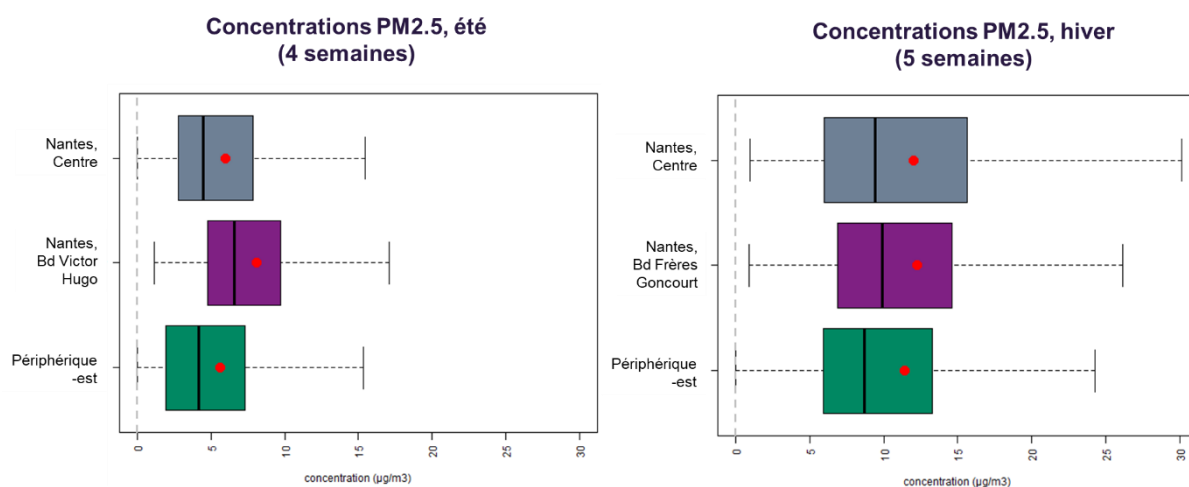
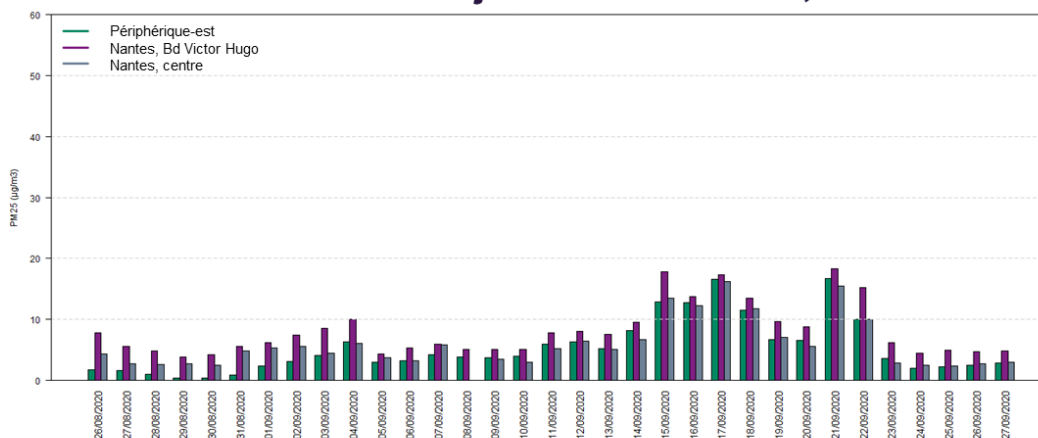


Figure 6 : boxplot des concentrations moyennes (données horaires) en PM2,5 sur l'ensemble de la campagne estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

L'évolution des concentrations moyennes journalières en PM_{2,5} confirme cette similarité des concentrations entre les 3 sites, sur l'ensemble de la campagne. Ces concentrations sont systématiquement inférieures à 20 µg/m³ en été, et inférieures à 35 µg/m³ en hiver.

Concentrations journalières PM_{2,5}, été



Concentrations journalières PM_{2,5}, hiver

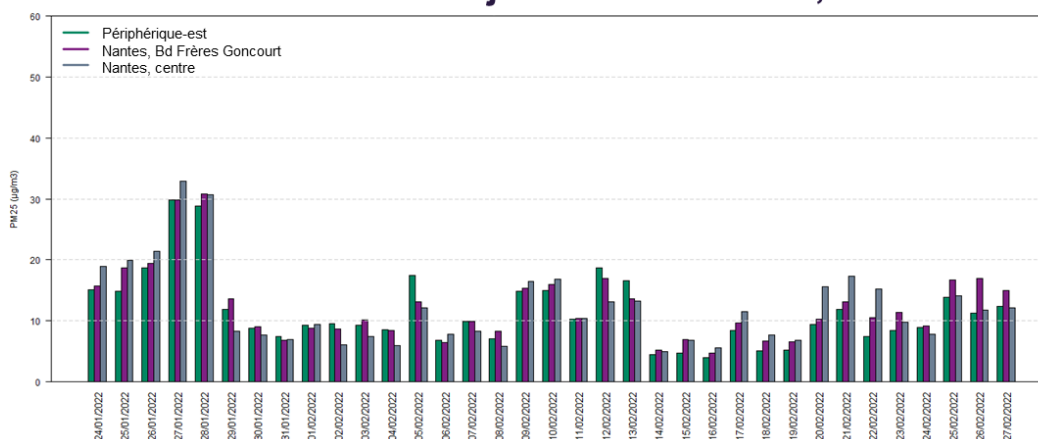


Figure 7 : évolution temporelle des concentrations moyennes journalières en PM_{2,5} au cours des campagnes estivale (en haut) et hivernale (en bas)

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats pour les PM_{2,5} :

		Moyenne sur la campagne (µg/m ³)	Maximum jour (µg/m ³)	Maximum horaire (µg/m ³)
Campagne estivale	Périphérique	5,7	16,7	32,0
	Nantes, Centre	6,0	16,3	31,8
	Nantes, Bd Victor Hugo	8,1	18,3	66,3
Campagne hivernale	Périphérique	11,4	29,9	78,8
	Nantes, Centre	12,0	32,9	67,7
	Nantes, Bd Frères Goncourt	12,3	30,8	77,2

Les mesures en PM_{2,5} au cours de ces 2 campagnes montrent :

- Des concentrations relevées à proximité du périphérique proches de celles relevées sur les stations permanentes du réseau Air Pays de la Loire ;
- Les concentrations toutefois plus élevées sur les sites de trafic urbain (Bd Victor Hugo et Bd Frères Goncourt) pourraient s'expliquer par l'effet canyon, qui se retrouve classiquement au niveau des boulevards et qui favorise localement l'accumulation des polluants ;
- Les stations permanentes de Nantes respectent la valeur limite et la valeur cible en moyenne annuelle, il est donc considéré comme fort probable que les concentrations en PM_{2,5} au niveau du périphérique respectent également ces seuils. Toutefois, les stations permanentes de Nantes dépassent l'objectif de qualité fixé à 10 µg/m³ en moyenne annuelle, il est donc possible que cet objectif de qualité soit dépassé au niveau du périphérique-est ;
- La valeur guide indiquée par l'OMS en moyenne journalière est dépassée 9 jours au total. La valeur guide annuelle a de fortes probabilités d'être dépassée, sur l'ensemble des sites de mesure.

Les dioxydes 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. Au cours des deux campagnes estivale et hivernale, les concentrations moyennes en NO₂ sont variables selon les sites de mesure. Les niveaux mesurés à proximité du périphérique, de 15 µg/m³ en été et 23,8 µg/m³ en hiver, se situent entre les niveaux relevés à Nantes-Centre (10,0 et 15,2 µg/m³, respectivement) et à proximité des boulevards Victor Hugo et Frères Goncourt (27,0 et 34,1 µg/m³, respectivement). Ces différences s'expliquent par la proximité du site de mesure avec le trafic : les valeurs les plus élevées sont observées sur le site du boulevard Victor Hugo ou du boulevard des Frères Goncourt, et où la présence des immeubles favorisent l'effet *rue-canyon*, propice à l'accumulation des polluants.

À l'image de ce qui est observé pour les poussières, les concentrations en NO₂ sont plus élevées en hiver qu'en été. L'apport estimé sur les concentrations en NO₂ au niveau du périphérique par rapport à Nantes-centre est de +5 µg/m³ en été, et de +14,3 µg/m³ en hiver.

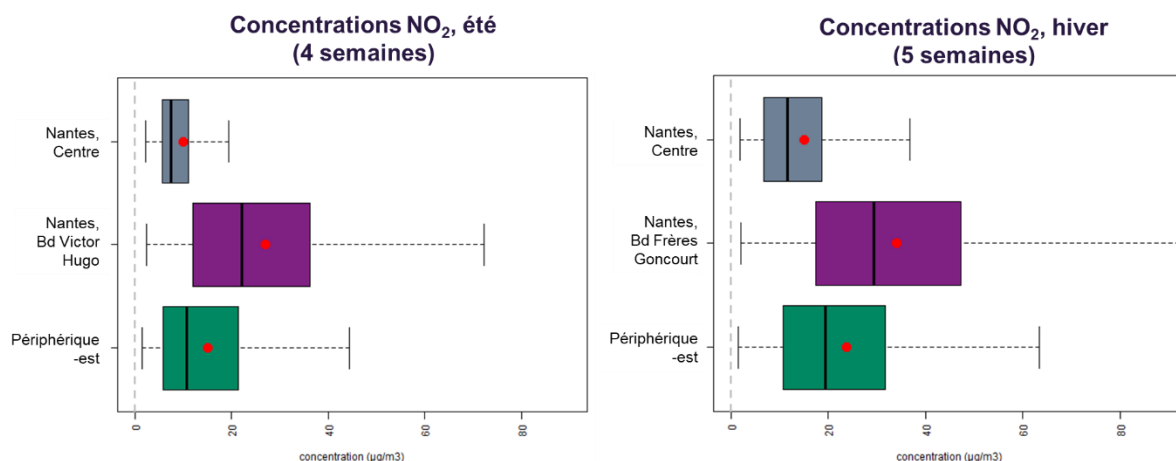


Figure 8 : boxplot des concentrations moyennes (données horaires) en NO₂ sur l'ensemble de la campagne estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

A échelle journalière, les concentrations maximum-horaire ne dépassent pas le seuil d'information et de recommandation, fixé à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire, quels que soient le site et la saison considérés.

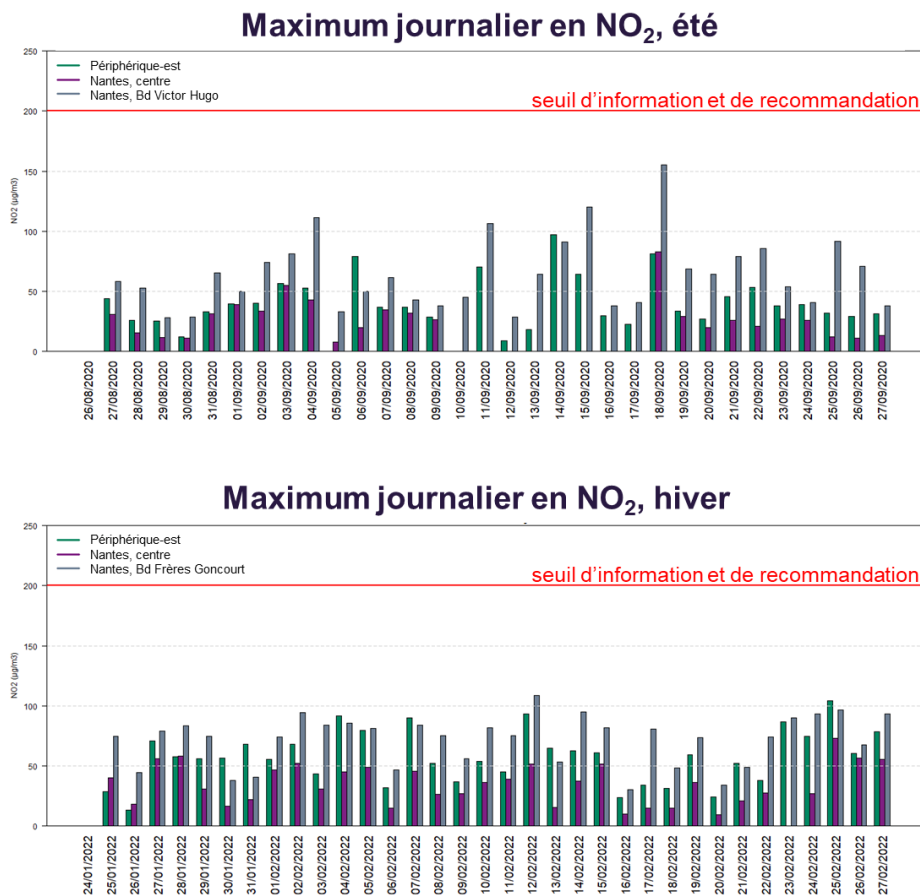


Figure 9 : évolution temporelle des concentrations horaires maximales par jour en NO_2 au cours des campagnes estivale (en haut) et hivernale (en bas). Le seuil d'information est indiqué en rouge

Les concentrations au cours de la campagne estivale sont corrélées aux jours d'activités, avec des concentrations moyennes journalières supérieures les jours ouvrés (18,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne) que le week-end (7,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette variation cyclique est moins marquée lors de la campagne hivernale (23,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en semaine contre 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ les week-ends en moyenne).

La corrélation du NO_2 avec les périodes d'activité humaine est confirmée par le profil d'évolution en NO_2 au cours d'une journée moyenne. Deux pics de concentration en NO_2 sont visibles au cours de la journée, quelle que soit la saison mais plus marqués en hiver qu'en été. Le premier pic a lieu le matin, entre 6 h 30 et 8 h 30, le second a lieu le soir entre 17 h et 20 h 30. Ces élévations de concentrations sont liées aux heures de pointe, où le trafic est le plus intense.

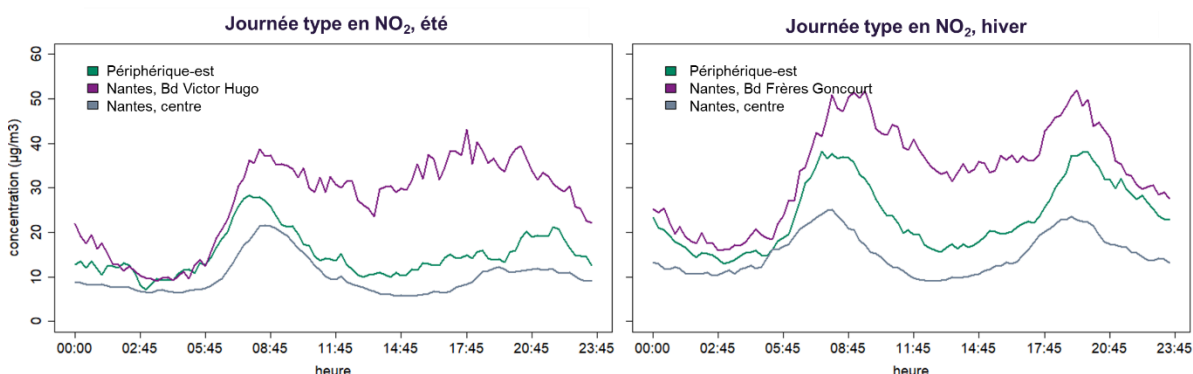


Figure 10 : évolution moyenne de concentration en dioxyde d'azote au cours d'une journée moyenne, pour la campagne estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

Les concentrations d'une journée type relevées à proximité du périphérique se situent à un niveau intermédiaire, entre les concentrations les plus élevées relevées au niveau des boulevards Victor Hugo et Frères Goncourt, et les concentrations les plus modestes relevées au cimetière de la Bouteillerie dans le centre de Nantes.

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats pour le NO₂ :

		Moyenne sur la campagne (µg/m ³)	Maximum jour (µg/m ³)	Maximum horaire (µg/m ³)
<i>Campagne estivale</i>	Périphérique	15,0	33,9	97,4
	Nantes, Centre	10,0	19,5	83,1
	Nantes, Bd Victor Hugo	27,0	54,8	155,0
<i>Campagne hivernale</i>	Périphérique	23,8	43,4	104,0
	Nantes, Centre	15,2	38,9	73,4
	Nantes, Bd Frères Goncourt	34,1	59,2	108,5

Les mesures en NO₂ au cours de ces 2 campagnes montrent :

- Aucun dépassement de la valeur limite horaire ni du seuil d'information et de recommandation, pendant les 9 semaines de mesure ;
- La valeur guide de l'OMS, fixée à 25 µg/m³ en moyenne journalière, est toutefois dépassée 17 jours au total (5 jours en été et 12 jours en hiver) ;
- Des concentrations relevées à proximité du périphérique qui sont intermédiaires à celles relevées sur les stations permanentes du réseau Air Pays de la Loire, représentatives du fond urbain et du trafic routier ;
- Les stations permanentes de Nantes respectent la valeur limite en moyenne annuelle, il est donc considéré comme fort probable que les concentrations en NO₂ au niveau du périphérique respectent également ce seuil au cours de l'année. Les valeurs guides préconisées par l'OMS ont toutefois de fortes probabilités d'être dépassées, tant pour la moyenne journalière (dont le seuil est fixé à 25 µg/m³) que pour la moyenne annuelle (seuil fixé à 10 µg/m³).

Les dioxydes de soufre SO₂

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

Les concentrations en dioxyde de soufre sont réglementées à 4 niveaux :

- Une **valeur limite en moyenne journalière** fixée à 125 µg/m³ ;
- Une **valeur limite horaire** fixée à 350 µg/m³ ;
- Un **seuil d'information et de recommandation** fixé à 300 µg/m³ en moyenne horaire ;
- Un **seuil d'alerte** fixé à 500 µg/m³ en moyenne horaire sur 3 heures consécutives ;
- À titre d'information, l'OMS (2021) préconise une **valeur guide de 40 µg/m³ en moyenne journalière**.

A des fins de comparaison, les valeurs enregistrées à proximité du périphérique-est sont comparées aux valeurs enregistrées à la station permanente d'Air Pays de la Loire en fond urbain, à Saint-Nazaire. Sur les 2 campagnes, les valeurs en SO₂ sont très faibles, proches des limites de détection de l'appareil, sur les 2 sites de mesure. Les concentrations moyennes au cours des 9 semaines de campagne sont proches de 1 µg/m³, quels que soient la saison ou le site considérés.

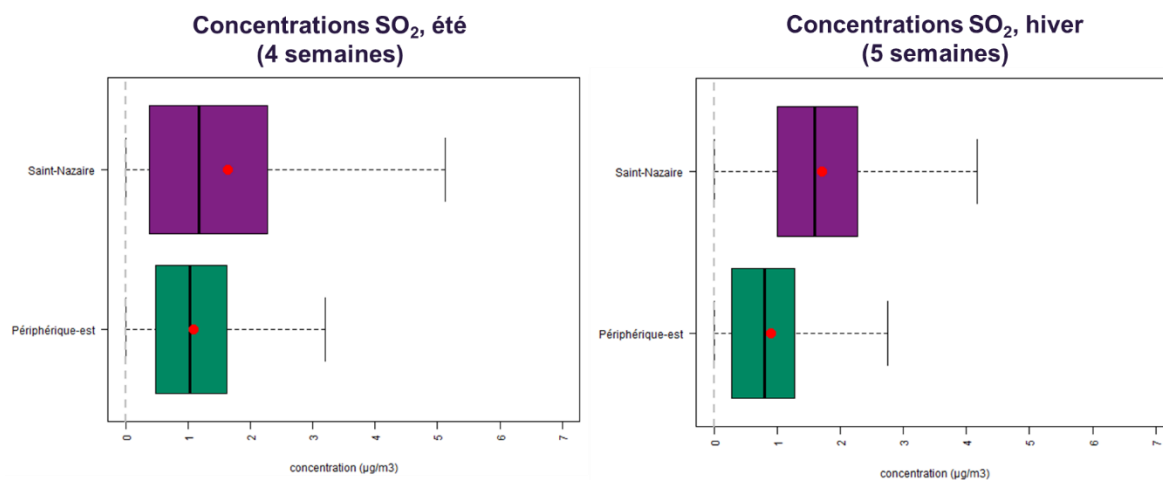
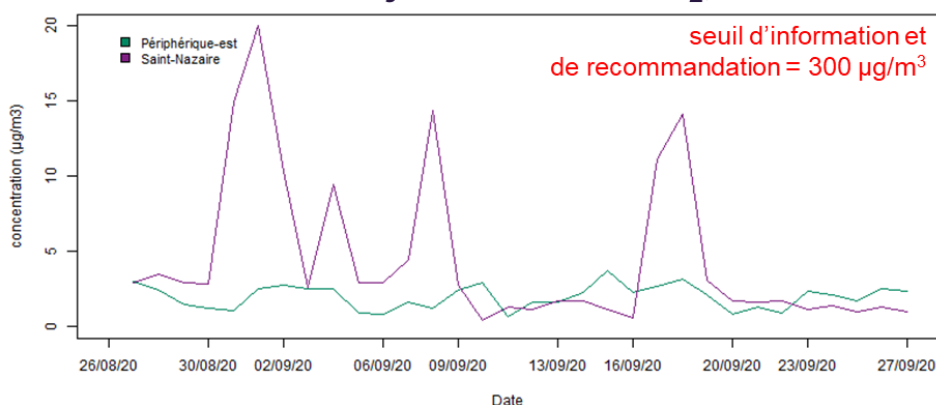


Figure 11 : boxplot des concentrations moyennes (données horaires) en SO₂ sur l'ensemble de la campagne estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

L'évolution des concentrations maximales relevées en moyenne-horaire, sur chaque journée, ne montre par ailleurs aucun dépassement de la valeur limite horaire, sur les 2 sites.

Maximum journalier en SO₂, été



Maximum journalier en SO₂, hiver

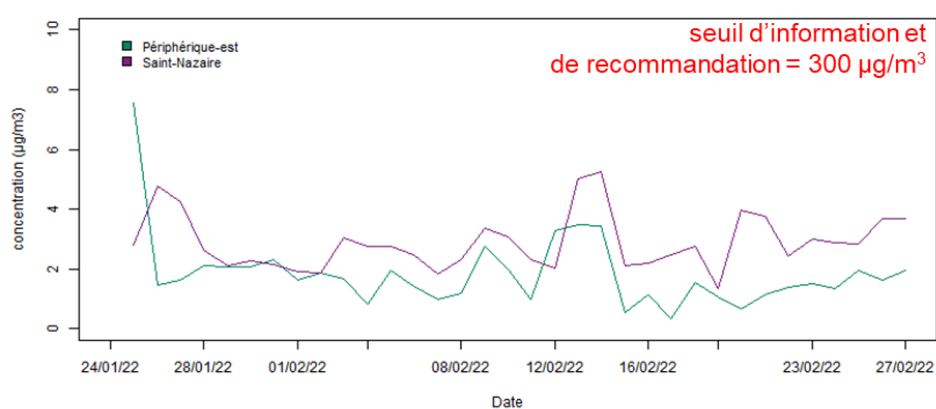


Figure 12 : évolution temporelle des concentrations horaires maximales par jour en SO₂ au cours des campagnes estivale (en haut) et hivernale (en bas). Le seuil d'information et de recommandation est fixé à 300 µg/m³ en moyenne horaire

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats pour le SO₂ :

		Moyenne sur la campagne (µg/m ³)	Maximum jour (µg/m ³)	Maximum horaire (µg/m ³)
Campagne estivale	Périphérique	1,1	2,3	10,7
	Saint-Nazaire	1,6	5,6	20
Campagne hivernale	Périphérique	0,9	3,1	7,7
	Saint-Nazaire	1,7	3,9	5,4

Les mesures en SO₂ au cours de ces 2 campagnes montrent :

- Aucun dépassement en moyenne-horaire du seuil d'information et de recommandation, ni de la valeur guide préconisée par l'OMS en moyenne journalière, pendant les 9 semaines de mesure ;
- Des concentrations relevées à proximité du périphérique-est qui sont faibles, proches des limites de détection de l'appareil, et similaires aux concentrations relevées à Saint-Nazaire ;
- La station permanente de Saint-Nazaire respecte la valeur limite et l'objectif de qualité en moyenne annuelle, il est donc considéré comme fort probable que les concentrations en SO₂ au niveau du périphérique respectent également ces seuils au cours de l'année.

Le monoxyde de carbone CO

<p>?</p> <p>Gaz inodore, incolore et inflammable, le CO se forme lors de la combustion incomplète de matières organiques et des produits pétroliers.</p>	<p>J</p> <p>Des taux importants de CO peuvent être rencontrés quand un moteur tourne au ralenti ou en cas d'embouteillage dans des espaces couverts. En cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage domestique, des teneurs élevées en CO peuvent être relevées dans les habitations.</p>	<p>📍</p> <p>Les niveaux sont plus élevés à proximité des voies de circulation à fort trafic, dans des espaces couverts. Cela peut également être le cas à l'intérieur d'habitations équipées de système de chauffage défaillant.</p>	<p>🧑</p> <p>Le CO se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang, conduisant à un manque d'oxygénation de l'organisme. Les premiers symptômes sont des maux de tête et des vertiges. Ils s'aggravent avec l'augmentation de sa concentration (nausées, vomissements...) et peuvent aller jusqu'au coma et à la mort.</p>	<p>🌳</p> <p>Le CO participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Dans l'atmosphère, il se transforme en dioxyde de carbone CO₂ et contribue ainsi de manière indirecte à l'effet de serre.</p>
---	---	---	--	--

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 µg/m³ en moyenne journalière.

Le monoxyde de carbone, à l'instar du dioxyde d'azote, peut être utilisé comme traceur du trafic routier. Les mesures effectuées sur le site du périphérique-est sont comparées à un autre site de mesure permanent, situé dans un environnement de trafic (boulevard Victor Hugo pour la campagne estivale, et boulevard des Frères Goncourt pour la campagne hivernale).

Les concentrations relevées en CO sont faibles, et légèrement plus élevées sur les sites permanents des Boulevards Victor Hugo (été) et Frères Goncourt (hiver) que sur le site du périphérique-est (0,15 contre 0,07 mg/m³ en été, et 0,31 contre 0,29 mg/m³ en hiver, respectivement). Cette légère différence peut s'expliquer par le contexte topographique du site de mesure. Les stations de mesure à proximité immédiate du boulevard et du trafic sont entourées d'immeubles, favorisant l'*effet rue-canyon* et l'accumulation des polluants localement. A l'inverse, le site de mesure à proximité du périphérique-est, situé en hauteur, profite d'un environnement plus aéré permettant la dispersion plus efficace du monoxyde carbone.

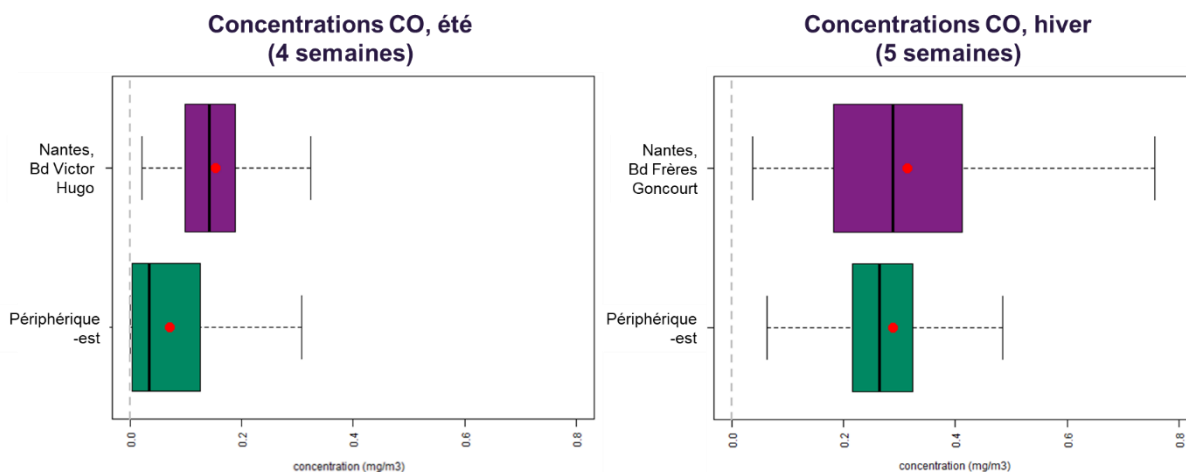


Figure 13 : boxplot des concentrations moyennes (données horaires) en CO sur l'ensemble de la campagne estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

Ces observations se confirment avec le profil journalier moyen, qui montre des concentrations moyennes supérieures sur le site de Nantes à celles mesurées sur le site du périphérique-est. Cet écart est d'autant plus marqué au moment des pics d'activité du matin et du soir.

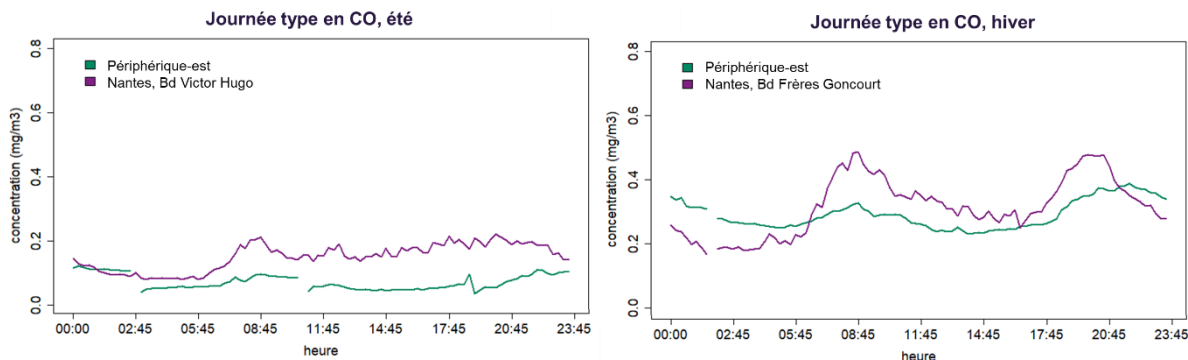
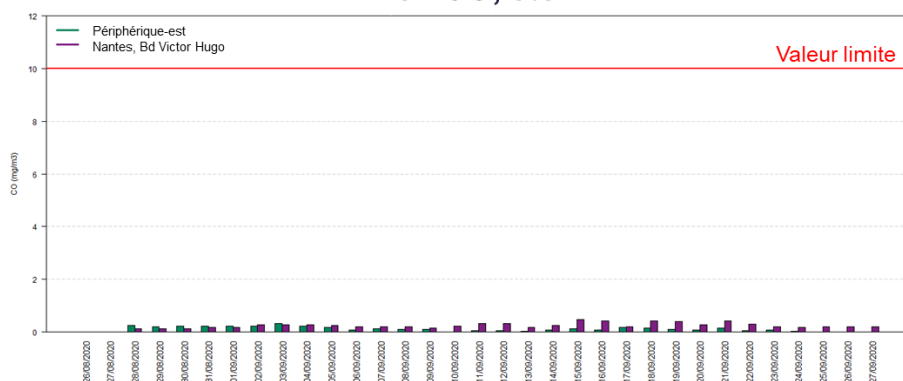


Figure 14 : évolution moyenne de concentration en monoxyde de carbone au cours d'une journée moyenne, pour la campagne estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

Les concentrations restent toutefois peu élevées en valeur absolue tout au long des 2 campagnes, et bien inférieures à la valeur limite fixée à 10 mg/m³ en concentration maximale journalière (moyenne glissante sur 8 heures). La figure ci-dessous montre l'évolution du maximum de la moyenne sur 8 heures, par jour, dont la valeur la plus élevée, de 1,1 mg/m³, a été relevée sur le site du trafic routier au cours de la campagne hivernale.

Evolution du maximum des concentrations 8-horaires en CO, été



Evolution du maximum des concentrations 8-horaires en CO, hiver

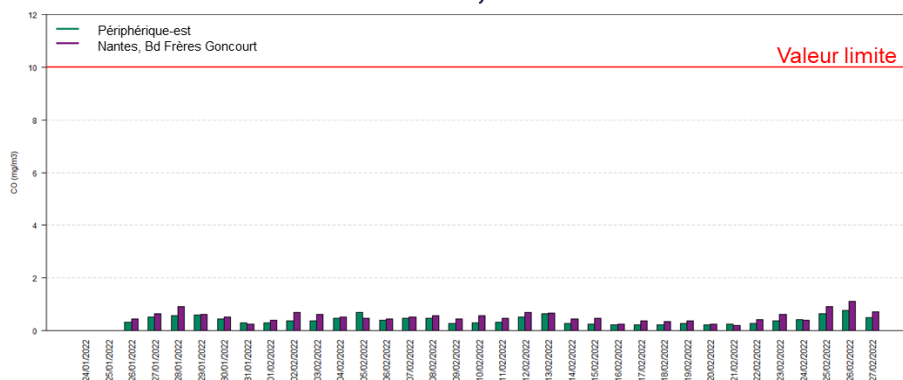


Figure 15 : évolution temporelle des concentrations 8-horaires maximales par jour en CO au cours des campagnes estivale (en haut) et hivernale (en bas). La valeur limite est indiquée en rouge

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats pour le CO :

		Moyenne sur la campagne (mg/m ³)	Maximum jour (µg/m ³)	Maximum des concentrations 8-horaires (mg/m ³)
Campagne estivale	Périphérique	0,07	0,31	0,32
	Nantes, Bd Victor Hugo	0,15	0,32	0,46
Campagne hivernale	Périphérique	0,29	0,53	0,77
	Nantes, Bd Frères Goncourt	0,31	0,67	1,12

Composés organiques non volatils (COVNM)

Les composés organiques sont une famille de composants chimiques dont la structure de base repose sur le carbone et l'hydrogène. De nombreuses espèces de cette famille peuvent également comprendre de l'oxygène, de l'azote ou des halogènes. Ils sont dits volatils dès lors qu'ils sont suffisamment légers pour se trouver à l'état gazeux dans des conditions ambiantes de pression et de température. De par leur forte réactivité, ces composés peuvent être particulièrement irritants en cas de contact avec les tissus vivants et ils contribuent à la formation d'ozone troposphérique, nocif pour l'environnement et la santé.

Les concentrations sont rapportées à des concentrations en équivalent carbone, et sont alors exprimées en $\mu\text{g éq.C/m}^3$.

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats pour le COVNM au cours de la campagne, dont les concentrations sont exprimées en équivalent carbone ($\mu\text{g éq.C/m}^3$) :

		Moyenne sur la campagne ($\mu\text{g éq.C/m}^3$)	Maximum jour ($\mu\text{g éq.C/m}^3$)	Maximum horaire ($\mu\text{g éq.C/m}^3$)
<i>Campagne estivale</i>	Périphérique	2,9	34	436
<i>Campagne hivernale</i>	Périphérique	78	207	614

Les niveaux de concentrations en COVNM enregistrées sur les 2 campagnes sont faibles et proches des limites de détection de l'appareil. De manière similaire aux autres polluants étudiés, les concentrations moyennes relevées au cours de la campagne hivernale ($78 \mu\text{g/m}^3$) sont supérieures à celles relevées lors de la campagne estivale ($2,9 \mu\text{g/m}^3$). L'accumulation de ces polluants est favorisée en hiver du fait de conditions météorologiques moins dispersives (couches d'inversion thermique notamment).

Le benzène et 1,3-butadiène

<p>?</p> <p>Le benzène (C₆H₆) est l'un des composés les plus nocifs de la famille des Composés Organiques Volatils (COV). En air extérieur, le benzène est une substance émise naturellement par les volcans et les feux de forêts. Les émissions de benzène proviennent principalement de la combustion du bois dans les petits équipements domestiques et du trafic routier.</p>	<p>J</p> <p>Les niveaux sont les plus élevés en période hivernale froide pour les milieux urbain et périurbain, ou selon les rejets industriels.</p>	<p>📍</p> <p>Les zones les plus concernées se situent à proximité des axes routiers et des zones à forte densité de population.</p>	<p>🧪</p> <p>Le benzène est connu pour ses effets mutagènes et cancérigènes.</p>	<p>🌳</p> <p>De manière générale, les COV jouent un rôle majeur dans les mécanismes complexes de formation de l'ozone dans la basse atmosphère (troposphère). Ils interviennent également dans les processus conduisant à la formation des gaz à effet de serre.</p>
---	---	---	--	--

Les concentrations en benzène sont soumises à deux seuils en valeur moyenne annuelle :

- Une **valeur limite** fixée à 5 µg/m³ ;
- Un **objectif de qualité** de 2 µg/m³.

Le benzène a été mesuré à proximité du périphérique-est par tubes de prélèvement passif exposés en doublon par tranche d'une semaine, pendant les 4 semaines de campagne de septembre 2020 (campagne estivale) et les 5 semaines de campagne de janvier/février 2022 (campagne hivernale). Chaque mesure correspond à une concentration moyenne hebdomadaire.

Ces mesures sont comparées aux mesures permanentes effectuées aux abords des boulevards Victor Hugo et Frères Goncourt. Les valeurs mentionnées sont les valeurs moyennées sur la même semaine que les prélèvements passifs effectués à proximité du périphérique.

A l'image des autres polluants, un contraste saisonnier sur les concentrations moyennes est observé. Les concentrations en benzène au cours des 4 semaines estivales sont comprises entre 0,28 et 0,53 µg/m³, et entre 0,51 et 1,30 µg/m³ au cours des 5 semaines hivernales. Sur l'ensemble de la campagne, les concentrations moyennes sont de 0,69 µg/m³.

Les valeurs relevées au niveau du périphérique sont similaires à celles relevées aux abords des boulevards Victor Hugo et Frères Goncourt, dont la moyenne s'élève sur l'ensemble de la campagne à 0,80 µg/m³. La valeur limite et l'objectif de qualité étant respectés à l'année sur ces sites de mesures permanentes, il est considéré comme fortement probable que les concentrations en benzène à proximité du périphérique-est respectent les normes en vigueur au cours d'une année civile.

Concentration en benzène (µg/m³)

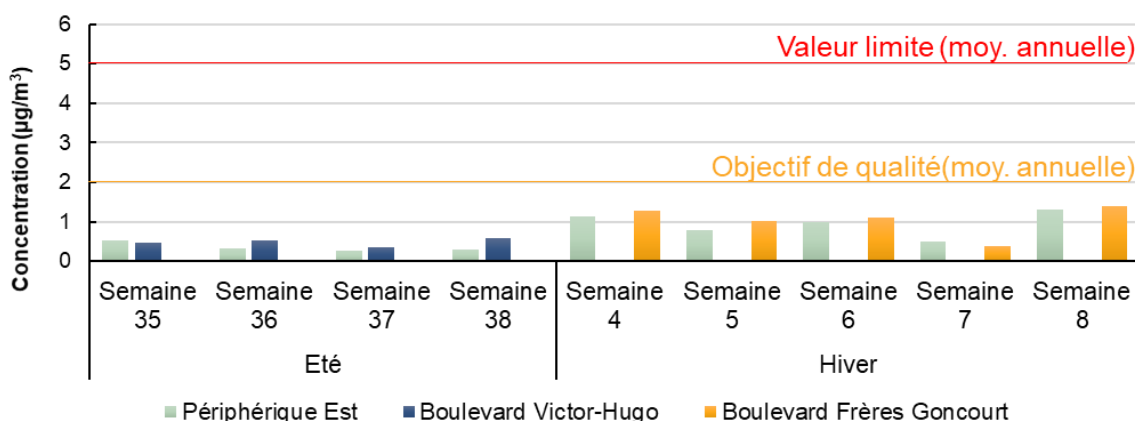


Figure 16 : évolution de la moyenne hebdomadaire en benzène au cours des campagnes estivale (à gauche) et hivernale (à droite), pour le site de périphérique-est et les boulevards Victor Hugo et Frères Goncourt

Les concentrations relevées en 1,3-butadiène sont très faibles et proches des limites de détection, avec une moyenne de 0,06 µg/m³ sur les 9 semaines de mesure, et des concentrations stables entre l'été (0,07 µg/m³ en moyenne) et l'hiver (0,05 µg/m³ en moyenne). Il n'existe pas de réglementations françaises sur les teneurs en 1,3-butadiène dans l'air ambiant.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats pour le benzène et 1,3-butadiène :

		Moyenne benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Moyenne 1,3-butadiène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
<i>Campagne estivale</i>	Périphérique	0,36	0,07
	Nantes, Victor Hugo	0,49	-
<i>Campagne hivernale</i>	Périphérique	0,94	0,05
	Nantes, Frères Goncourt	1,04	-

Les HAP

<p>?</p> <p>Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des composés formés de noyaux aromatiques. Ils sont générés sous forme gazeuse ou particulaire par la combustion incomplète de combustibles fossiles et de biomasse. Le plus étudié est le benzo(a)pyrène B(a)P.</p>	<p>J</p> <p>Les niveaux sont les plus élevés lors de périodes hivernales (propices à l'utilisation du chauffage au bois).</p>	<p>📍</p> <p>Les zones les plus concernées sont les zones résidentielles ou rurales utilisant le chauffage au bois.</p>	<p>🧑‍⚕️</p> <p>Associées aux particules fines, le benzo(a)pyrène peut pénétrer dans les alvéoles pulmonaires et constitue un agent mutagène et cancérigène. Le benzo(a)pyrène est considéré comme traceur du risque cancérigène lié aux HAP dans l'air ambiant.</p>	<p>🌳</p> <p>Certains HAP, dont le benzo(a)pyrène, sont toxiques pour l'environnement. Ils contaminent sols, eaux et aliments et génèrent du stress oxydant dans les organismes vivants.</p>
--	--	---	--	--

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) regroupent de nombreux composés comprenant 2 ou plusieurs cycles benzéniques. Ils sont essentiellement issus des processus de combustions fossiles incomplètes, parfois liées aux activités naturelles (éruptions volcaniques, incendies) et souvent liées aux activités humaines (chauffage résidentiel). Certains HAP, comme le benzo(a)pyrène (B(a)P), sont cancérigènes.

Dans ce cadre, Air Pays de la Loire a mesuré 16 HAP dans l'environnement à proximité du périphérique-est, incluant le B(a)P, qui est le seul HAP réglementé en France et dont la valeur cible est fixée à 1 ng/m³ en moyenne annuelle.

Les résultats présentés ici montrent les mesures du B(a)P, afin de le comparer aux valeurs réglementaires. Les autres mesures des HAP sont présentés en annexe, et montrent des évolutions synchrones et similaires à l'évolution temporelle du B(a)P.

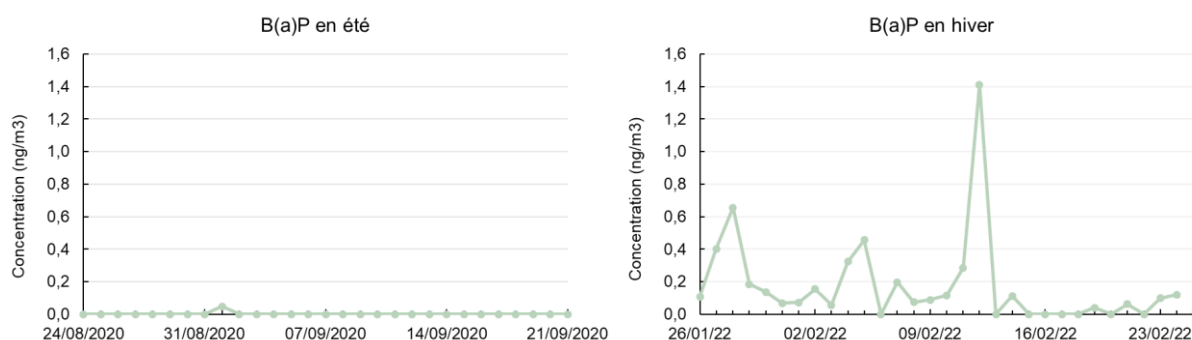


Figure 17 : évolution des moyennes journalières en B(a)P à proximité du périphérique-est, au cours des campagnes estivale (à gauche) et hivernale (à droite)

Les concentrations en B(a)P relevées au cours de la campagne sont faibles, avec une moyenne de 0,09 ng/m³ sur l'ensemble des 9 semaines de mesure, 10 fois inférieures à l'objectif de qualité. Une variabilité saisonnière est visible, avec des concentrations sous les limites de détection de l'appareil de mesure tout au long de la campagne estivale, et une élévation des concentrations journalières en hiver, comprises entre 0 et 1,41 ng/m³. Cette élévation des concentrations observée en hiver peut s'expliquer par des émissions plus importantes émanant du chauffage urbain, et par des conditions météorologiques plus favorables à l'accumulation des polluants.

Le Chrysène est le HAP qui montre les concentrations les plus élevées au cours de la campagne (voir annexe), celui-ci étant émis à des concentrations plus élevées que les autres HAP lors des combustions fossiles⁵.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats pour le B(a)P, en comparant les valeurs moyennes à celles relevées à Nantes – Centre :

		Moyenne sur la campagne (ng/m ³)
Campagne estivale	Périphérique	< 0,02
	Nantes, Centre	< 0,02
Campagne hivernale	Périphérique	0,17
	Nantes, Centre	0,13

Les concentrations relevées à proximité du périphérique-est étant proches de celles relevées à la station de mesure permanente de Nantes-Centre, et celle-ci ne montrant aucun dépassement de la valeur cible de B(a)P à l'année, il est fort probable que les niveaux de B(a)P à proximité du périphérique-est respectent également cette valeur cible de 1 ng/m³ en moyenne annuelle.

⁵ INERIS, Fiche données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Chrysène, 2022

Les Métaux



Les émissions de métaux toxiques proviennent principalement de la combustion de combustibles fossiles (charbons, fiouls), de certains procédés industriels et des transports (aviation, routier, etc...).



Les niveaux suivent les rejets industriels.



Les zones les plus concernées se situent à proximité des établissements industriels émetteurs, des axes à fort trafic et des aéroports.



Les métaux s'accablent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénale, hépatique ou respiratoire.



Les métaux toxiques contaminent les sols et les aliments. Ils s'accablent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques.

Les 3 métaux lourds Arsenic (As), Chrome (Cr) et Nickel (Ni) ont été mesurés pendant 4 semaines en été et 5 semaines en hiver, par prélèvements sur filtre exposé pendant 1 semaine entière. Chaque mesure est donc la concentration moyenne relevée sur 7 jours intégrés.

Sur les métaux mesurés, seuls l'Arsenic et le Nickel sont réglementés avec une valeur cible en moyenne annuelle de :

- 6 ng/m³ pour l'Arsenic ;
- 20 ng/m³ pour le Nickel ;

	Période de prélèvement	Arsenic As (ng/m ³)	Chrome Cr (ng/m ³)	Nickel Ni (ng/m ³)
Eté 2020	MOYENNE	0,39	0,08	0,09
	Semaine 35	0,20	< 0,02	0,11
	Semaine 36	0,35	0,02	0,15
	Semaine 37	0,38	0,03	< 0,01
	Semaine 38	0,62	0,19	0,01
Hiver 2022	MOYENNE	0,37	1,13	0,13
	Semaine 04	0,50	1,44	0,21
	Semaine 05	0,20	1,44	0,06
	Semaine 06	0,50	1,32	0,15
	Semaine 07	0,18	0,66	0,04
	Semaine 08	0,45	1,45	0,20
Moyenne (9 semaines)		0,38	0,74	0,12
Valeur cible (moyenne annuelle)		6,00	N.A.	20

Les concentrations moyennes sur 9 semaines, incluant l'été 2020 et l'hiver 2022, sont inférieures d'un facteur 15 à la valeur cible pour l'Arsenic, et d'un facteur 200 à la valeur cible pour le Nickel.

À titre d'information, en 2020 et 2021 les concentrations d'Arsenic sont de 0,47 et 0,39 ng/m³, respectivement, à Nantes – Bouteillerie. Les concentrations de Nickel sont de 0,67 et 0,63 ng/m³, respectivement.

Conclusions et perspectives

Dans le cadre du réaménagement du complexe de Bellevue et du périphérique-est entrepris par la DREAL Pays de la Loire, SCE Environnement a sollicité Air Pays de la Loire afin de réaliser le diagnostic de la qualité de l'air à l'état initial, avant travaux. Cette campagne vient compléter la première campagne de mesure effectuée en 2018.

Les mesures à proximité du périphérique-est montrent notamment :

- **Des concentrations de polluants qui se situent à un niveau intermédiaire entre les niveaux relevés en fond urbain** (cimetière de la Bouteillerie) **et ceux relevés aux abords du trafic routier** (boulevards Victor Hugo et Frères Goncourt). La qualité de l'air y est donc typique d'un fond urbain avec influence de trafic routier ;
- **Des concentrations de polluants significativement supérieures en conditions hivernales qu'en conditions estivales**, quel que soit le polluant considéré, en réponse à de plus fortes émissions et à des conditions météorologiques moins favorables à leur dispersion en cette période ;
- **Un respect des seuils réglementaires en vigueur**, quel que soit le polluant considéré, excepté pour les PM2,5 dont l'objectif de qualité peut être dépassé en moyenne annuelle.

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats de cette étude :

Polluants	Moyenne pendant la campagne		Respect des seuils d'information/alerte		Probabilité de respect des valeurs réglementaires		
	Été 2020	Hiver 2022	Seuil d'information	Seuil d'alerte	Valeur limite	Objectif de qualité	Valeur cible
Particules fines PM10	8,8 µg/m ³	20,1 µg/m ³	☺	☺	☺	☺	
Particules fines PM2,5	5,7 µg/m ³	11,4 µg/m ³			☺	☹	☺
Dioxyde d'azote NO ₂	15 µg/m ³	23,8 µg/m ³	☺	☺	☺	☺	
Dioxyde de soufre SO ₂	1,1 µg/m ³	0,9 µg/m ³	☺	☺	☺		
Monoxyde de carbone CO	0,07 mg/m ³	0,29 mg/m ³			☺		
COVNM	2,9 ng/m ³	78,0 ng/m ³					
Arsenic As	0,4 ng/m ³	0,4 ng/m ³					☺
Nickel Ni	0,07 ng/m ³	0,13 ng/m ³					☺
Chrome Cr	0,06 ng/m ³	1,13 ng/m ³					
Benzo(a)Pyrène B(a)P	< 0,02 ng/m ³	0,17 ng/m ³					☺
Benzene C ₆ H ₆	0,36 µg/m ³	0,94 µg/m ³			☺	☺	
1,3-butadiène	0,07 µg/m ³	0,05 µg/m ³					

Tableau 2 : tableau de synthèse des résultats par polluants vis-à-vis des valeurs réglementaires
 ☺ = probabilité de respect de la valeur réglementaire ; ☹ = probabilité de dépassement de la valeur réglementaire

Annexes

- Annexe 1 : évolution des concentrations journalières en HAP
- Annexe 2 : Air Pays de la Loire
- Annexe 3 : technique d'évaluation
- Annexe 4 : types des sites de mesure
- Annexe 5 : seuils de qualité de l'air 2021
- Annexe 6 : valeurs guides de qualité de l'air de l'OMS (2021)

Annexe 1 : évolution des concentrations journalières en HAP

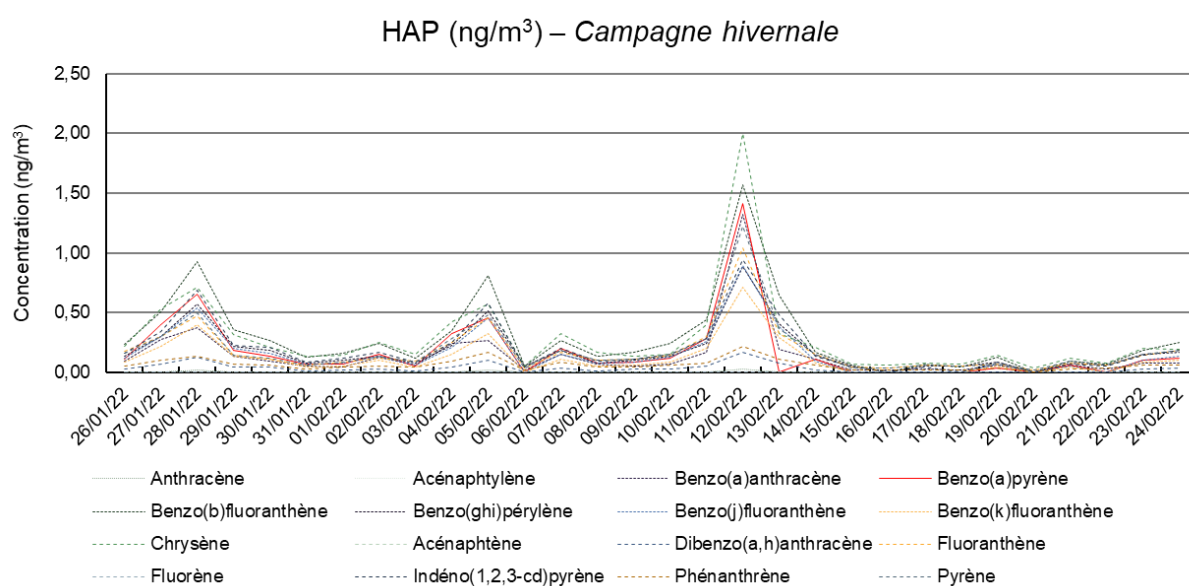
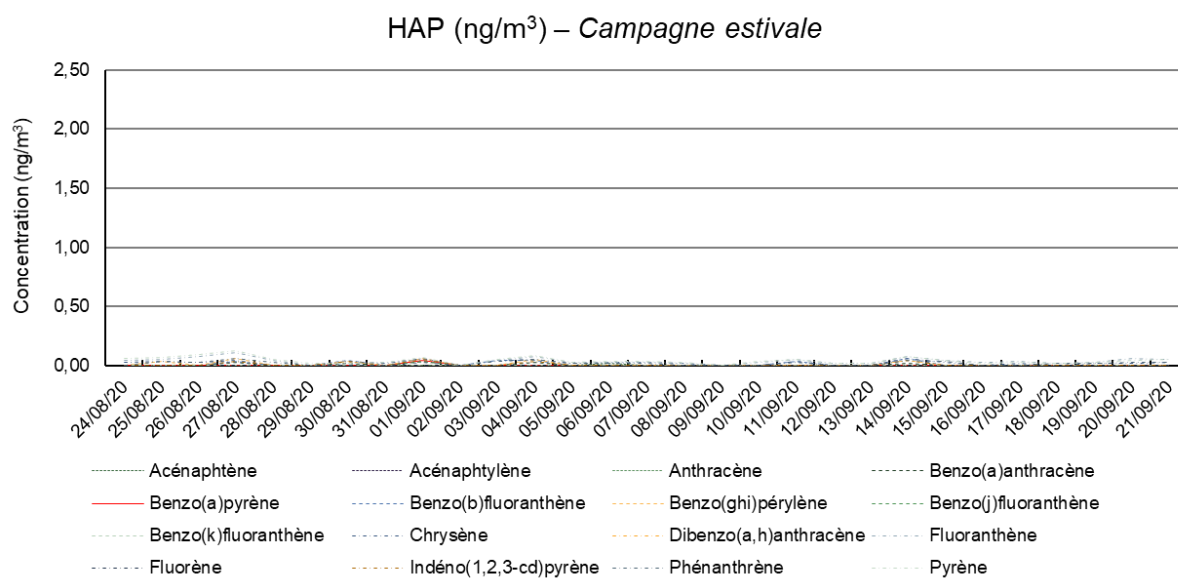


Figure A1 : évolution temporelle des concentrations moyennes journalières pour l'ensemble des HAP analysés au cours des campagnes estivale (en haut) et hivernale (en bas)

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.

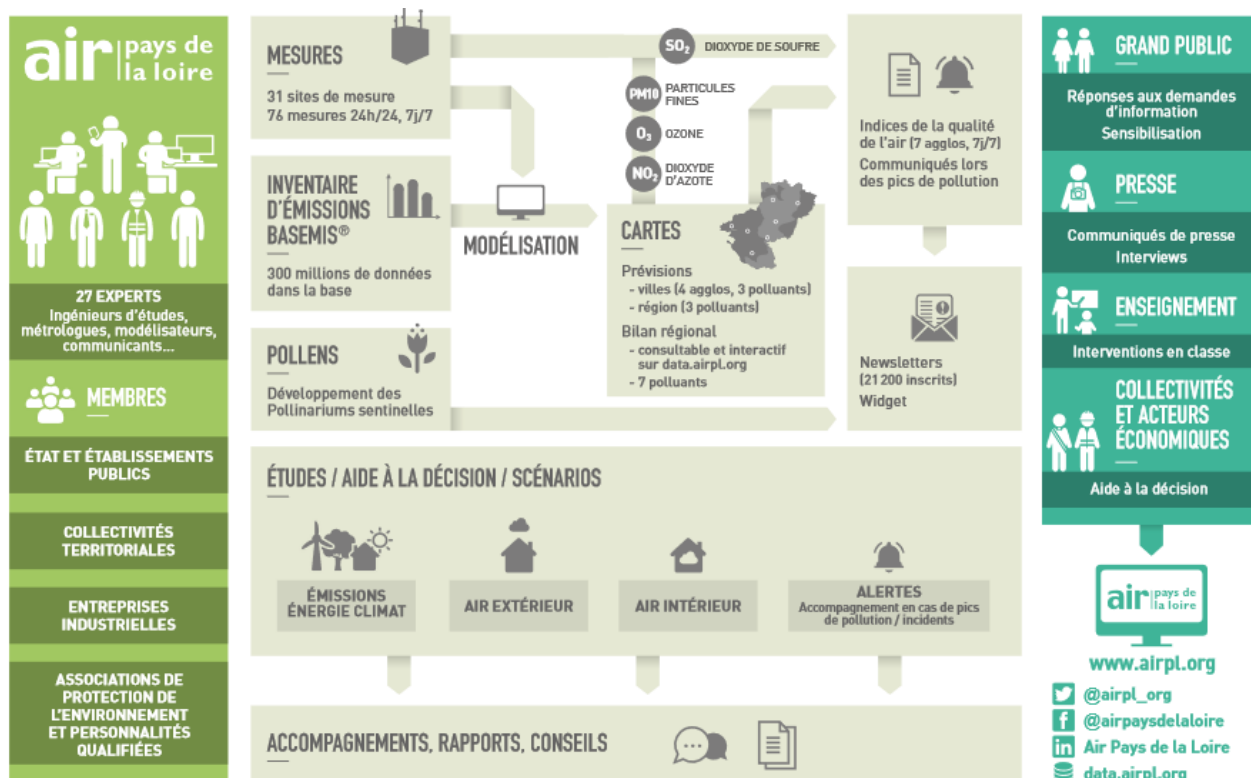
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- 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.



Annexe 3 : technique d'évaluation

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.

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 dioxyde de soufre

méthode - normes

Le dioxyde de soufre est détecté par la technique de fluorescence UV - norme **NF EN 14212**.

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 benzène

méthode – normes

Les tubes passifs sont des systèmes spécifiques dont le principe est l'absorption du benzène après diffusion au travers d'un corps poreux. L'analyse du piège sera réalisée en laboratoire par thermodésorption et chromatographie en phase gazeuse, conformément à la norme NF EN 14662-4.

pas de temps

Tous les 7 jours

Mesures des concentrations atmosphériques en métaux

méthode – normes

Les mesures de métaux sont effectuées par prélèvements de particules fines PM10 sur filtres, selon la norme EN 12341 (collecte sous débit 1m³/h). Les filtres sont ensuite analysés en laboratoire : minéralisation HF/HNO₃ puis analyse par ICP-MS, selon la norme NF EN 14902 pour le Plomb, le Nickel, l'Arsenic et le Cadmium.

pas de temps

Toutes les semaines

Mesures des concentrations atmosphériques en HAP

méthode – normes

Les mesures de HAP sont effectuées par prélèvements de particules fines PM10 sur filtres puis analyse en laboratoire : extraction par ultrasons, séparation par chromatographie gazeuse et analyse par double spectrométrie de masse, conformément à la norme NF EN 15549.

Les HAP mesurés seront ceux listés dans la directive européenne 2004/107/CE. Ce sont : le benzo(a)pyrène (BaP, le seul à pouvoir être comparé à une valeur cible), le benzo(b)fluoranthène, le benzo(k)fluoranthène, le benzo(j)fluoranthène, l'indeno(1,2,3-cd)pyrène, le dibenzo(a,h)anthracène, et le benzo(a)anthracène. Le benzo(g,h,i)perylène sera également recherché.

pas de temps

journalier

Annexe 4 : 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 5 : seuils de qualité de l'air 2021

SEUILS DE DÉCLENCHEMENT DES ÉPISODES DE POLLUTION

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

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

(1) pour la protection de la végétation
(2) à ne pas dépasser plus de 35 par an (percentile 90,4 annuel)
(3) à ne pas dépasser plus de 3 par an (percentile 99,2 annuel)
(4) à ne pas dépasser plus de 18h par an (percentile 99,79 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.

Annexe 6 : valeurs guides de qualité de l'air de l'OMS (2021)

Seuils de référence recommandés en 2021 par rapport à ceux figurant dans les lignes directrices sur la qualité de l'air de 2005

Polluant	Durée retenue pour le calcul des moyennes	Seuil de référence de 2005	Seuil de référence de 2021
PM _{2,5} , µg/m ³	Année	10	5
	24 heures ^a	25	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Année	20	15
	24 heures ^a	50	45
O ₃ , µg/m ³	Pic saisonnier ^b	–	60
	8 heures ^a	100	100
NO ₂ , µg/m ³	Année	40	10
	24 heures ^a	–	25
SO ₂ , µg/m ³	24 heures ^a	20	40
CO, mg/m ³	24 heures ^a	–	4

µg = microgramme

^a 99^e centile (3 à 4 jours de dépassement par an).

^b Moyenne de la concentration moyenne quotidienne maximale d'O₃ sur 8 heures au cours des six mois consécutifs où la concentration moyenne d'O₃ a été la plus élevée.

Remarque : l'exposition annuelle et l'exposition pendant un pic saisonnier sont des expositions à long terme, tandis que l'exposition pendant 24 heures et 8 heures sont des expositions à court terme.

Source : Organisation Mondiale de la Santé (OMS)



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