ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Dans l'environnement de l'Unité de Valorisation Énergétique Arc-en-Ciel 2034

Campagne 2024

Air Pays de la Loire • septembre 25

Sommaire

Synthèse 3
Introduction 5
Dispositif 6
Mesures de retombées totales 12
Dépôts de dioxines et furanes 12
Dépôts de métaux lourds 14
Mesures de concentrations atmosphériques ... 16
Acide chlorhydrique en phase gazeuse 16
Acide fluorhydrique dans l'air 18
Métaux lourds dans l'air 19
Résultats des mesures automatiques 23
Dioxyde d'azote NO_2 24
Particules PM10 27
Dioxyde de soufre SO_2 30
Monoxyde de carbone CO 32
Mercure gazeux Hg 34
Conclusions 36
Annexes 37

Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Eneour Le Guiban
Exploitation du matériel de mesure : Edouan Fachat et Sonia Cécile
Mise en page : Bérangère Poussin
Validation : François Ducroz

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 2025 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 la mairie de Couëron, la mairie de Saint-Jean-de-Boiseau ainsi que M. Le Gal de Basse-Indre pour avoir aimablement accepté l'installation du matériel de mesure afin de mener à bien cette campagne.

Synthèse

Contexte

Depuis la publication des arrêtés préfectoraux du 2 juillet 1992 et du 14 avril 2003, modifié le 13 février 2018, qui imposent une surveillance annuelle de la qualité de l'air autour de l'Usine de Valorisation Énergétique, le dispositif de la campagne de mesure 2020 a évolué et intègre les recommandations du guide « surveillance dans l'air autour des installations classées - retombées des émissions atmosphériques » (INERIS - novembre 2016).

Deux types d'indicateurs sont ciblés :

- Les concentrations en polluants atmosphériques, qui comprennent les métaux lourds, l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide fluorhydrique (HF), le dioxyde d'azote (NO_2), le dioxyde de soufre (SO_2), le monoxyde de carbone (CO), les particules PM10 ainsi que le mercure gazeux.
- Les retombées atmosphériques totales, qui contiennent notamment les dioxines et furanes et les métaux lourds.

Cette surveillance annuelle a pour objectif :

- De comparer les niveaux de pollution par rapport aux valeurs réglementaires et de référence.
- D'évaluer l'influence des émissions d'Arc-en-Ciel 2034 sur la qualité de l'air environnant, en comparant notamment les mesures à celles réalisées sur d'autres sites, non influencés par l'établissement.

Moyens

Une campagne de mesure avec 2 phases de 4 semaines

En 2024, la période de prélèvements s'est étendue du 22 mai au 18 juin 2024 pour la première phase et du 12 décembre 2024 au 9 janvier 2025 pour la seconde phase, avec un fonctionnement nominal des lignes d'incinération sur l'ensemble de la campagne.

Deux types d'indicateurs pour plusieurs polluants

Le dispositif d'étude mis en œuvre par Air Pays de la Loire comprend la mesure :

- **Des dépôts atmosphériques** par la collecte et l'analyse des eaux de pluie. Il s'agit de quantifier :
  - **9 métaux** (As, Ni, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mn, Co, Sb, V),
  - **les dioxines et les furanes** (17 congénères toxiques).

- **Des concentrations atmosphériques :**
  - par la pose de systèmes aspirant l'air ambiant au travers de filtres qui sont analysés en laboratoire pour mesurer :
    - **l'acide chlorhydrique gazeux**,
    - les **métaux lourds** en suspension dans l'air (As, Ni, Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Co, Sb, V).
  - par la pose de tubes à diffusion passive qui sont analysés en laboratoire pour **l'acide fluorhydrique gazeux,**
  - par la mesure en continu du **dioxyde d'azote, monoxyde de carbone, dioxyde de soufre** et **particules inférieures à 10 µm** ainsi que **le mercure gazeux** à l'aide d'analyseurs automatiques.

Résultats

Les niveaux enregistrés vis-à-vis de la réglementation en vigueur sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Comparaison aux valeurs réglementaires								
Valeur de référence	**NO_2**		**PM10**		**SO_2**		**CO**	
Exposition aigüe	**Période considérée : 12/12/24 – 09/01/25**							
Seuil d'information	200 µg/m³ en **moyenne horaire**	✓	50 µg/m³ en **moyenne journalière**	✓	300 µg/m³ en **moyenne horaire**	✓	-	
Valeur limite	200 µg/m³ en **moyenne horaire** *à ne pas dépasser plus de 18h par an*	✓	50 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 35 jours par an*	✓	125 µg/m³ en **moyenne horaire** *à ne pas dépasser plus de 3 jours par an*	✓	10 mg/m³ en **moyenne 8-horaire**	✓
Valeur guide OMS	200 µg/m³ en **moyenne horaire**	✓	45 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an*	✓	40 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an*	✓	10 mg/m³ en **moyenne 8-horaire**	✓
	25 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an*	−						
Exposition chronique								
Valeur limite	40 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	40 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	-		-	
Objectif qualité	-		30 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	50 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	-	
Valeur guide OMS	10 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	15 µg/m³ en **moyenne annuelle**	−	-		-	

✓ : respect constaté de la valeur de référence ; ✓ : respect probable de la valeur de référence ; − : possible dépassement de la valeur de référence ; X : dépassement constaté de la valeur de référence

L'analyse des résultats permet d'évaluer l'influence d'Arc-en-Ciel 2034 sur les polluants mesurés, et montre que :

- L'influence de l'établissement sur les dépôts de métaux lourds (arsenic, cadmium, cobalt, manganèse, nickel, plomb, mercure, antimoine et vanadium) dans son environnement n'est pas significative.
- Aucun lien de causalité n'a été établi entre les niveaux d'acide fluorhydrique, chlorhydrique et de métaux lourds dans l'air et les émissions de l'établissement.
- Les niveaux de dioxines et furanes ne sont pas influencés par les émissions de l'établissement.
- Aucune influence de l'établissement n'a été détectée dans les niveaux de dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, particules fines et monoxyde de carbone.
- **Une influence des émissions d'Arc-en-Ciel 2034 sur les concentrations mesurées à la Gendarmerie est probable pour le mercure gazeux**. La concentration moyenne relevée dans la direction 220°N est 11 % plus élevée que dans les autres directions. Cette observation avait également été faite en 2021, 2022 et 2023.

Conclusions

Les teneurs en polluant enregistrées dans l'environnement d'Arc-en-Ciel 2034 sont représentatives d'une zone périurbaine. L'ensemble des niveaux en polluant mesurés au cours de la campagne respectent les valeurs réglementaires. Un dépassement est possible pour certaines valeurs guides définies par l'OMS (25 µg/m³ en moyenne journalière en NO_2 à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an ainsi que 15 µg/m³ en moyenne annuelle pour les PM10). Cette observation n'est pas spécifique à l'environnement d'Arc-en-Ciel mais est enregistrée en milieu urbain. Aucune influence significative des émissions d'Arc-en-Ciel 2034 sur les niveaux des différents polluants n'a été mise en évidence, excepté pour le mercure gazeux où une influence de l'UVE est probable. Malgré cette influence probable, les niveaux en mercure restent 55 fois inférieures à la VTR de l'OEHHA en exposition chronique.

Les mesures se poursuivent en 2025. **Compte tenu des niveaux d'acide fluorhydrique (HF) inférieurs aux limites de détection sur l'ensemble des sites de prélèvement depuis 5 ans, début des mesures, ce polluant sera retiré du dispositif à compter de la campagne de 2025.**

Introduction

Située sur la commune de Couëron, l'Unité de Valorisation des Déchets Arc-en-Ciel 2034 assure le traitement de près de 149 000 tonnes de déchets produits annuellement par l'agglomération nantaise. Parmi ceux-ci, près des deux tiers (environ 94 000 tonnes, représentant 98 % des seuls déchets ménagers) sont valorisés afin de produire de l'énergie (environ 30 GWh par an) ou des matériaux tels que des remblais ou de la sous-couche routière.

L'activité d'incinération est encadrée par les arrêtés préfectoraux de juillet 1992, avril 2003 et modifiés le 13 février 2018 qui imposent une surveillance annuelle de la qualité de l'air autour de l'Usine de Valorisation Énergétique.

Depuis 1997, Arc-en-Ciel 2034 a confié cette mission à Air Pays de la Loire qui a mis en place un dispositif de surveillance des polluants atmosphériques suivants : métaux lourds, chlorure d'hydrogène, et dioxyde d'azote. En 2003, à cette surveillance, s'est ajoutée la mesure des dépôts totaux en dioxines et furanes dans l'environnement d'Arc-en-Ciel 2034 et sur deux autres sites non influencés par l'établissement. Par ailleurs, depuis 2009, un laboratoire mobile permettant de mesurer en continu les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone et les particules fines PM10 a été ajouté à la surveillance.

Arc-en-ciel 2034 sollicite Air Pays de la Loire pour maintenir l'activité de surveillance de la qualité de l'air dans l'environnement du site industriel.

En 2020, le dispositif de la campagne de mesure intègre les recommandations du guide « surveillance dans l'air autour des installations classées - retombées des émissions atmosphériques » (INERIS - novembre 2016). Les évolutions choisies en accord avec VEOLIA sont justifiées et récapitulées dans le livrable d'Air Pays de la Loire intitulé « UVE Arc-en-Ciel 2034 : évolution de la stratégie de surveillance de la qualité de l'air en 2020 ».

Les six évolutions les plus significatives intégrées à la surveillance depuis 2020 sont récapitulées ci-dessous :

- Prendre en compte cinq substances additionnelles : l'acide fluorhydrique (HF), le mercure (Hg), l'antimoine (Sb), le cobalt (Co), et le vanadium (V).
- Retirer de la surveillance trois substances : Zn, Cl- et Na+.
- Déplacer le site de l'école de la Métairie plus au sud dans le cœur du tissu urbain de Couëron.
- Supprimer les points témoins de Nantes-nord et de la Tardière (Vendée) et les substituer par les points témoins locaux du stade Hauray à l'ouest de l'établissement et du site de Basse-Indre, à l'est.
- Passer d'une campagne annuelle de 7 semaines consécutives à une campagne annuelle de deux fois 4 semaines.
- Utiliser les tests statistiques référencés dans le guide pour évaluer s'il y a eu dégradation de l'environnement.

Cette surveillance a pour objectifs de :

- Évaluer les risques de dépassement des valeurs réglementaires en air ambiant fixées par la réglementation française.
- Mettre en perspective des résultats enregistrés dans l'environnement de l'Unité de Valorisation Énergétique avec ceux du dispositif permanent (milieu urbain, milieu rural).
- Quantifier l'influence des émissions de l'établissement sur les concentrations atmosphériques et les dépôts mesurés dans l'environnement d'Arc-en-Ciel 2034.

Dispositif

Un dispositif complet a été mis en œuvre pour la surveillance de la qualité de l'air dans l'environnement de l'Unité de Valorisation Énergétique. Il permet d'appréhender deux indicateurs de la pollution atmosphérique :

- Les concentrations atmosphériques, via des mesures directement dans l'air.
- Les retombées atmosphériques sous forme de dépôts totaux, via la collecte et l'analyse des eaux de pluie.

Plusieurs polluants (9 métaux, acide chlorhydrique et fluorhydrique, dioxydes d'azote, dioxyde de soufre, particules PM10, monoxyde de carbone, dioxines et furanes et mercure gazeux) ont été mesurés dans l'air et/ou dans les eaux de pluie à l'aide de différentes techniques de collecte et d'analyse normalisées.

Sites de mesure

2 sites sous l'influence potentielle des émissions d'Arc-en-Ciel 2034, et positionnés sous les vents dominants de l'UVE, ont été sélectionnés afin d'effectuer les mesures automatiques et manuelles.

- La gendarmerie de Couëron, ci-après dénommé *Gendarmerie*, situé à 0,5 km de l'UVE au nord-nord-est. Cette station remplace le site de mesure de l'école de la Métairie, utilisé de 2010 à 2019.
- Le cimetière de Saint-Jean-de-Boiseau, ci-après nommé *Saint-Jean-de-Boiseau*, situé à 1,8 km au sud-ouest de l'UVE.

Figure 1 : localisation des sites de mesure autour d'Arc-en-Ciel 2034
En orange : sites sous influence de l'UVE ; en vert : sites témoins

Afin de comparer les sites sous influence avec des sites non influencés, dits sites témoins, deux autres sites ont été sélectionnés pour comparaison :

- Le stade d'Hauray, ci-après nommé *Hauray*, situé à 1,1 km à l'ouest de l'UVE.
- *Basse-Indre*, situé à 4,4 km à l'est de l'UVE.

L'ensemble de ces sites est également comparé avec les sites de mesures permanentes d'Air Pays de la Loire, situés hors-influence d'Arc-en-Ciel 2034 :

- La station *Nantes – centre*, située au cimetière de la Bouteillerie, et représentative du **fond urbain**. Les niveaux de PM10 et NO_2 y sont comparés.
- La station *Saint-Etienne-de-Montluc*, représentative du **niveau rural**. Les concentrations de PM10, NO_2 et SO_2 y sont comparées.
- La station *Parc Paysager* à *Saint-Nazaire*, représentative du **fond urbain**. Les niveaux de SO_2 y sont comparés.

Dispositif de mesure

Les concentrations atmosphériques

Sur trois sites (la Gendarmerie de Couëron, le stade Hauray et Saint-Jean-de-Boiseau), les concentrations atmosphériques des polluants suivants ont été mesurées :

- **9 L'acide chlorhydrique (HCl**), sous forme gazeuse.
- **L'acide fluorhydrique (HF),** sous forme gazeuse.
- **9 métaux lourds** visés par les arrêtés préfectoraux de juillet 1992, avril 2003 et modifiés le 13 février 2018 : arsenic (As), cadmium (Cd), cobalt (Co), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb), mercure (Hg), antimoine (Sb), et le vanadium (V) a également été analysé pour son potentiel supposé à tracer les émissions des usines d'incinération d'ordures ménagères.
- Le dioxyde d'azote NO_2, le dioxyde de soufre SO_2, les particules fines PM10, le monoxyde de carbone CO ainsi que le mercure gazeux ont été mesurés sur le site de la Gendarmerie de Couëron sur la phase hivernale.

Les prélèvements en métaux et acide chlorhydrique sont réalisés sur des filtres, et ceux de l'acide fluorhydrique par tubes à diffusion passive, relevés toutes les semaines. Les données correspondent donc à des moyennes hebdomadaires. Les concentrations des autres polluants, mesurées automatiquement tous les quarts d'heure, sont présentées selon les standards en vigueur dans la définition des seuils réglementaires.

Les retombées atmosphériques

Conformément aux arrêtés préfectoraux du 9 décembre 1998 et du 14 avril 2003 et modifiés le 13 février 2018, une collecte des dépôts totaux est effectuée sur les trois sites dans l'environnement de l'UVE : les 2 sites placés dans les zones de retombées maximales (la Gendarmerie et Saint-Jean-de-Boiseau) et le site témoin du stade Hauray à Couëron pour une analyse en laboratoire des métaux, de l'acide chlorhydrique et fluorhydrique sous forme gazeuse et des dioxines et furanes.

Des collectes de dépôts pour l'analyse des dioxines et furanes ont également été réalisées sur le deuxième site témoin non influencé, à Basse-Indre.

Le dispositif installé, par site, est précisé en annexe 1. Une description complète des techniques de collecte et d'analyse ainsi que des normes utilisées est disponible en annexe 2.

Le tableau suivant recense pour l'ensemble des sites de mesure, le type de polluant analysé ainsi que les durées d'échantillonnage.

		Concentrations atmosphériques			**Retombées atmosphériques**	
Nom du site	Typologie	Métaux	HCl gazeux HF gazeux	NO_2, SO_2, PM10, CO, Hg	Dioxines et furanes	Métaux
Durée d'exposition		**Hebdomadaire (4 échantillons par site)**		**Quart-horaire**	**Mensuel (2 fois dans l'année)**	
Gendarmerie	Industriel	**X**	**X**	**X (4 semaines en hiver)**	**X**	**X**
Saint-Jean-de-Boiseau	Industriel	**X**	**X**		**X**	**X**
Stade Hauray	Site témoin	**X**	**X**		**X**	**X**
Basse-Indre	Site témoin				**X**	
Cimetière de la Bouteillerie	Urbain	**X (As, Ni, Cd, Pb)**		**X (NO_2, PM10)**		
Saint-Etienne-de-Montluc	Rural			**X (NO_2, SO_2, PM10)**		
Saint-Nazaire	Urbain			**X (SO_2)**		

Tableau 1 : typologie des sites, polluants étudiés et durée des prélèvements

Périodes de mesure

Conformément au guide de l'INERIS « Surveillance dans l'air autour des installations classées – retombées des émissions atmosphériques » (novembre 2016), la campagne de mesure s'est déroulée en deux phases de 4 semaines afin de disposer de conditions météorologiques contrastées et avoir une meilleure représentativité des mesures sur l'année :

- Du 22 mai au 18 juin 2024, en condition printanière.
- Du 12 décembre 2024 au 9 janvier 2025, en condition hivernale.

Les situations météorologiques les plus défavorables à la dispersion des polluants intervenants en hiver (de décembre à mars), c'est au cours de cette deuxième phase que les mesures automatiques ont été effectuées au niveau de la Gendarmerie de Couëron.

Le tableau ci-dessous présente les périodes de prélèvement des métaux lourds, de l'acide chlorhydrique et de l'acide fluorhydrique dans l'air.

	Printemps 2024		Hiver 2024-2025	
Période	**Date début**	**Date fin**	**Date début**	**Date fin**
Semaine 1	22/05/2024	29/05/2024	12/12/2024	19/12/2024
Semaine 2	29/05/2024	05/06/2024	19/12/2024	26/12/2024
Semaine 3	05/06/2024	12/06/2024	26/12/2024	02/01/2025
Semaine 4	12/06/2024	18/06/2024	02/01/2025	09/01/2025

Tableau 2 : périodes de prélèvement des métaux, de l'acide chlorhydrique et fluorhydrique

Les périodes de prélèvement des retombées atmosphériques totales de dioxines et furanes, et des retombées atmosphériques totales de métaux sont résumées dans le tableau ci-dessous.

	Printemps 2024		Hiver 2024-2025	
Site	**Date début**	**Date fin**	**Date début**	**Date fin**
Période	22/05/2024	18/06/2024	12/12/2024 *Dioxines & furanes : 31/01/25**	09/01/2025 *Dioxines & furanes : 28/02/25**

Tableau 3 : périodes de prélèvement des retombées de métaux, dioxines et furanes

**Les jauges de prélèvements des dioxines et furanes ont été abimées lors du transport au laboratoire, rendant l'analyse des quatre jauges impossible. De nouveaux prélèvements ont donc été mis en œuvre à partir du 31 janvier 2025.*

Les périodes de mesure par analyseurs automatiques (NO_2, SO_2, CO, PM10 et Hg gazeux) ont été réalisées uniquement sur la période hivernale :

	Hiver 2024-2025	
Site	**Date début**	**Date fin**
Période	12/12/2024	09/01/2025

Tableau 4 : périodes des mesures automatiques

Taux de validité des mesures

Le tableau ci-dessous donne les taux de disponibilité des mesures sur les 2 phases de la campagne :

	Campagne printanière	Campagne hivernale
PM10	-	99,7 %
NO_2	-	99,4 %
SO_2	-	98,5 %
CO	-	99,6 %
Mercure gazeux	-	89,8 %
Dioxines et furanes (retombées atmosphériques)	100 %	100 %
Métaux (retombées atmosphériques)	100 %	100 %
HCl gazeux	100 %	100 %
HF gazeux	100 %	100 %
Métaux (concentrations atmosphériques)	100 %	100 %

Tableau 5 : synthèse des taux de disponibilité des mesures automatiques ainsi que des prélèvements

Conditions météorologiques

Printemps 2024

La campagne printanière a été marquée par des températures conformes à la normale climatique et des précipitations plus élevées que celle-ci (+51 % en mai 2024 et +30 % en juin 2024 par rapport à la période 1991-2020).

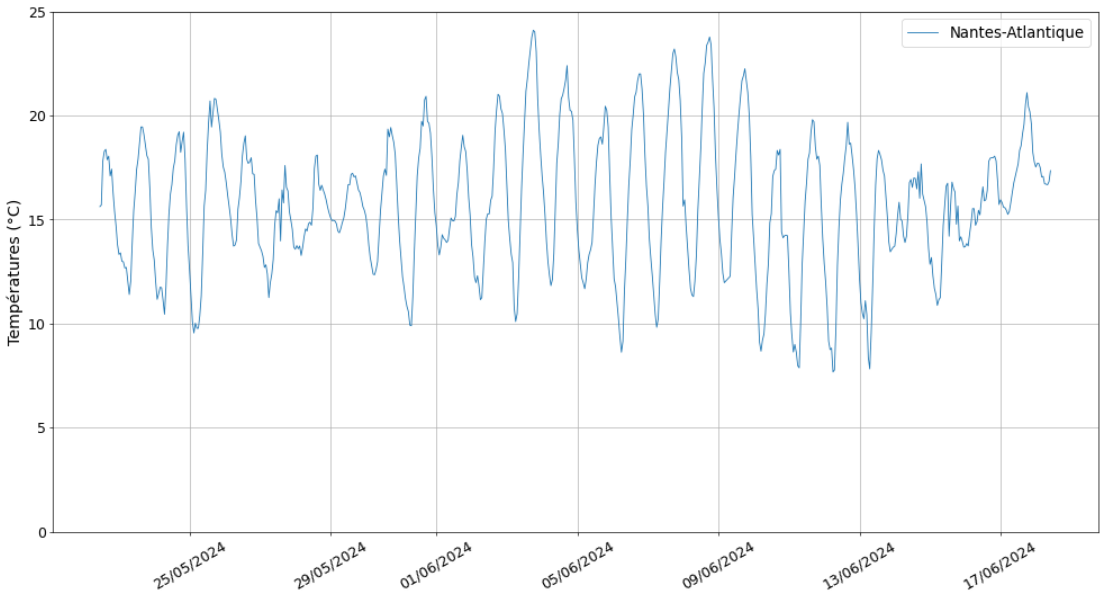


Figure 2 : évolution des températures au cours de la campagne printanière, du 22 mai au 18 juin 2024 (source des données : station Météo-France de Nantes-Atlantique)

Les vents ont été essentiellement de sud-ouest et de nord-nord-est durant la campagne.

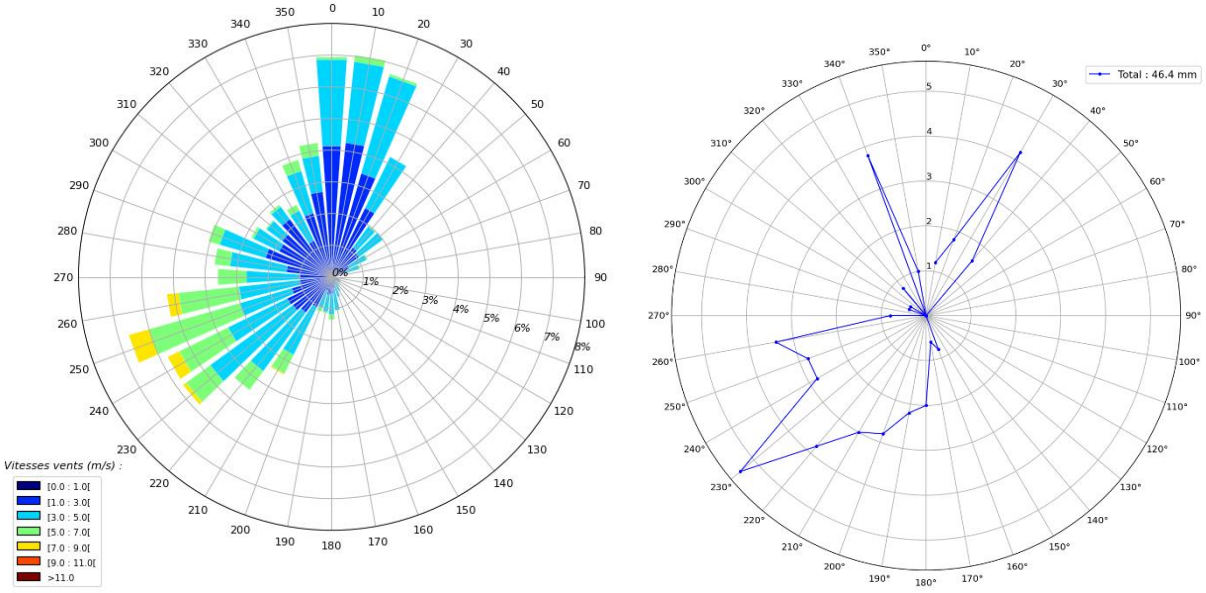


Figure 3 : roses des vents et des précipitations au cours de la campagne printanière, du 22 mai au 18 juin 2024 (source des données : station Météo-France de Nantes-Atlantique)

Les figures ci-dessus indiquent que :

- Le site de la Gendarmerie de Couëron, sous les vents de l'UVE pour des directions de vent compris entre 210°N et 240°N, a été exposé aux émissions de l'UVE durant 18,7 % du temps de la campagne printanière.
- Le site de Saint-Jean-de-Boiseau est situé sous les vents de l'UVE pour des vents compris entre 40°N et 50°N. Ces vents ont représenté 3,9 % du temps.
- Le site du stade Hauray, situé entre 100°N et 110°N, a été exposé durant 0,4 % du temps aux vents de l'UVE, confirmant ainsi le caractère témoin du site car très peu sous les vents de l'établissement.
- Enfin, le site de Basse-Indre, situé à 290°N de l'UVE, a été sous les vents de ce dernier près de 4 % du temps de la campagne printanière.

Hiver 2024-2025

La campagne hivernale a été caractérisée par des vents de nord-est, sud-ouest et ouest-nord-ouest. La pluviométrie a été plus élevée durant cette seconde période (111 mm) par comparaison à la première période (46 mm).

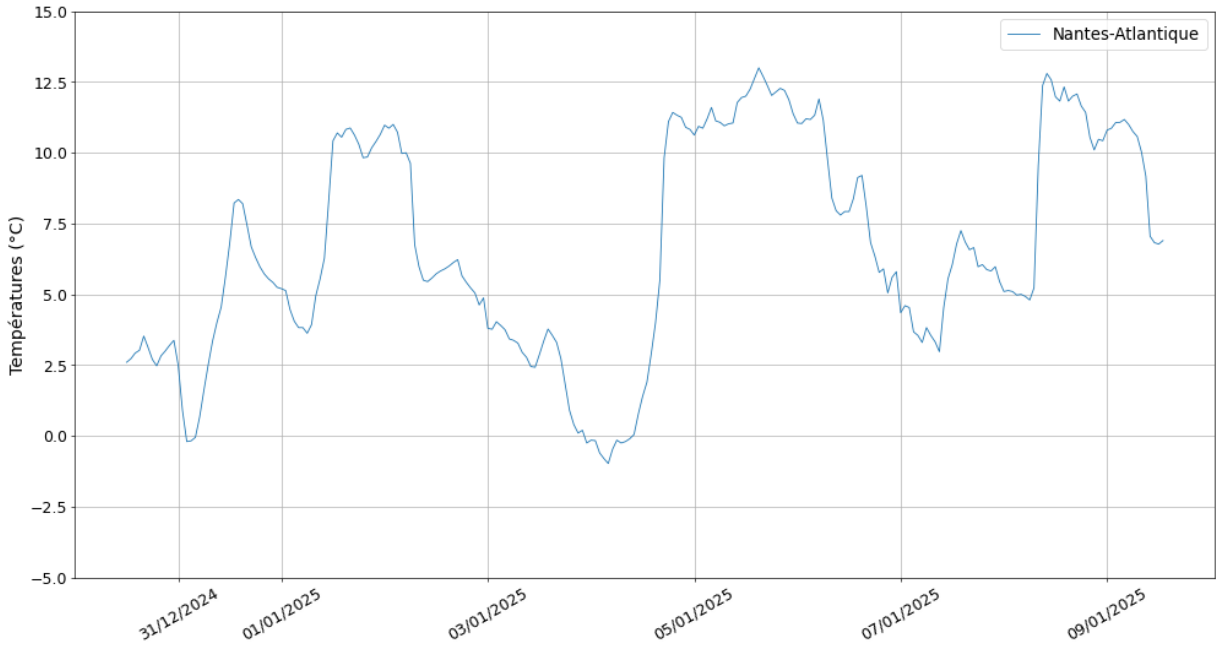


Figure 4 : évolution des températures au cours de la campagne hivernale, du 12 décembre 2024 au 9 janvier 2025 (source des données : station Météo-France de Nantes-Atlantique)

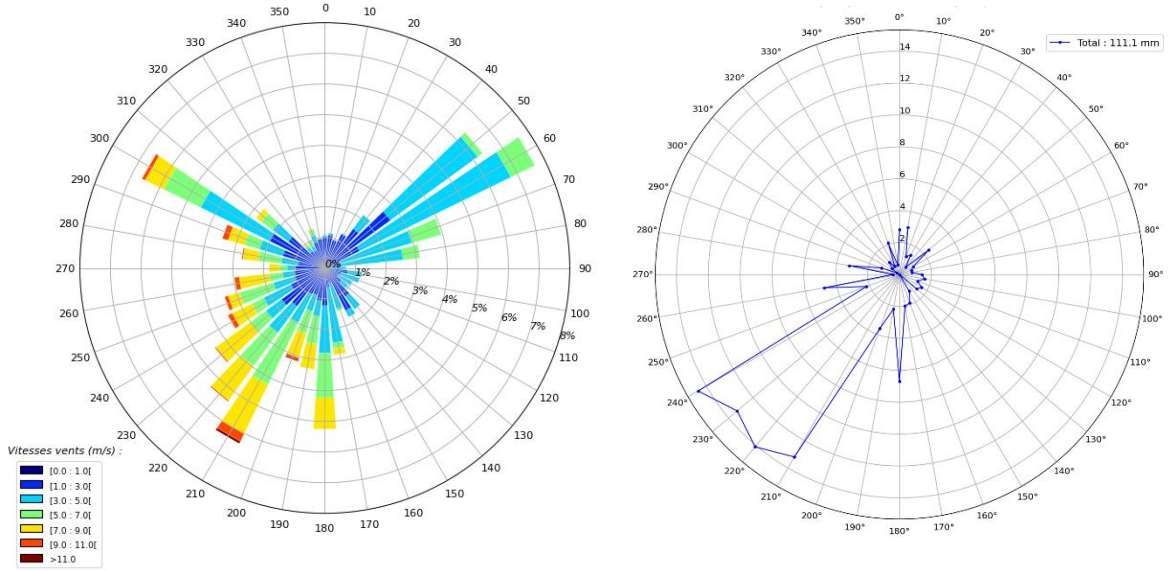


Figure 5 : roses des vents et des précipitations au cours de la campagne hivernale, du 12 décembre 2024 au 9 janvier 2025 (source des données : station Météo-France de Nantes-Atlantique)

Les figures ci-dessus indiquent que :

- Le site de la Gendarmerie de Couëron a été sous les vents de l'UVE (compris entre 210°N et 240°N) durant 19,2 % du temps de la campagne hivernale. Ces directions ont représenté près de la moitié (55 mm) des précipitations totales. Les conditions étaient donc propices au lessivage des polluants.
- Le site de Saint-Jean-de-Boiseau a quant à lui été sous les vents de l'UVE (compris entre 40°N et 50°N) durant 8,4 % du temps de la campagne hivernale et a été caractérisé par de faibles précipitations (3 mm) lorsque les vents provenaient de ces directions.
- Le site du stade Hauray (100°N et 110°N) a quant à lui été exposé aux vents de l'UVE durant 2,4 % du temps.
- Enfin, le site de Basse-Indre (290°N), a été sous les vents de l'UVE durant 3,4 % du temps de la campagne hivernale.

Les roses des vents détaillées par semaine, pour chaque campagne, sont présentées en annexe 3.

Mesures de retombées totales

Dépôts de dioxines et furanes

Après la collecte, les échantillons d'eaux de pluie sont envoyés en laboratoire afin de mesurer leur contenu en dioxines et furanes. Cette mesure est réalisée par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution (HRGC) suivie d'une spectrométrie de masse à haute résolution (HRMS), et porte sur la quantification de 7 dioxines et de 10 furanes différentes, appelées des congénères.

En raison des différentes toxicités pour l'homme de ces différents congénères, il ne serait pas pertinent de comparer directement les quantités de chacun d'entre eux. C'est pourquoi des facteurs de toxicité équivalente sont définis, permettant de mettre tous ces congénères sur la même échelle en termes d'impact sanitaire. Par exemple la dioxine 1,2,3,4,7,8-Hexachloro-Dibenzo-Dioxine étant, à masse égale, 10 fois moins toxique pour l'homme que la 2,3,7,8-Tetrachloro-Dibenzo-Dioxine – qui sert de référence dans cette échelle de toxicité équivalente – la quantité (en masse) de la première dans l'échantillon sera divisée par 10 afin que les deux composés puissent être comparés. L'utilisation de ces facteurs permet par ailleurs de calculer une toxicité équivalente totale de l'échantillon en sommant les contributions des 17 composés.

De plus, les résultats sont normalisés par la durée d'exposition des jauges ainsi que par la surface de collecte dans le but de comparer différentes campagnes et différents sites entre eux.

Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats de retombées totales de dioxines et furanes, par site, et par phase de campagne, exprimés en toxicité équivalente totale :

	Gendarmerie	Hauray	Saint-Jean-de-Boiseau	Basse-Indre
Toxicité équivalente totale (I-TEQ) en pgéq/m²/jour (printemps)	0,02	0,06	$2{,}00.10^{-4}$	9,80
Toxicité équivalente totale (I-TEQ) en pgéq/m²/jour (hiver)	0,28	0,07	0,14	0,09

Tableau 6 : toxicité équivalente totale pour chaque site de la campagne 2024

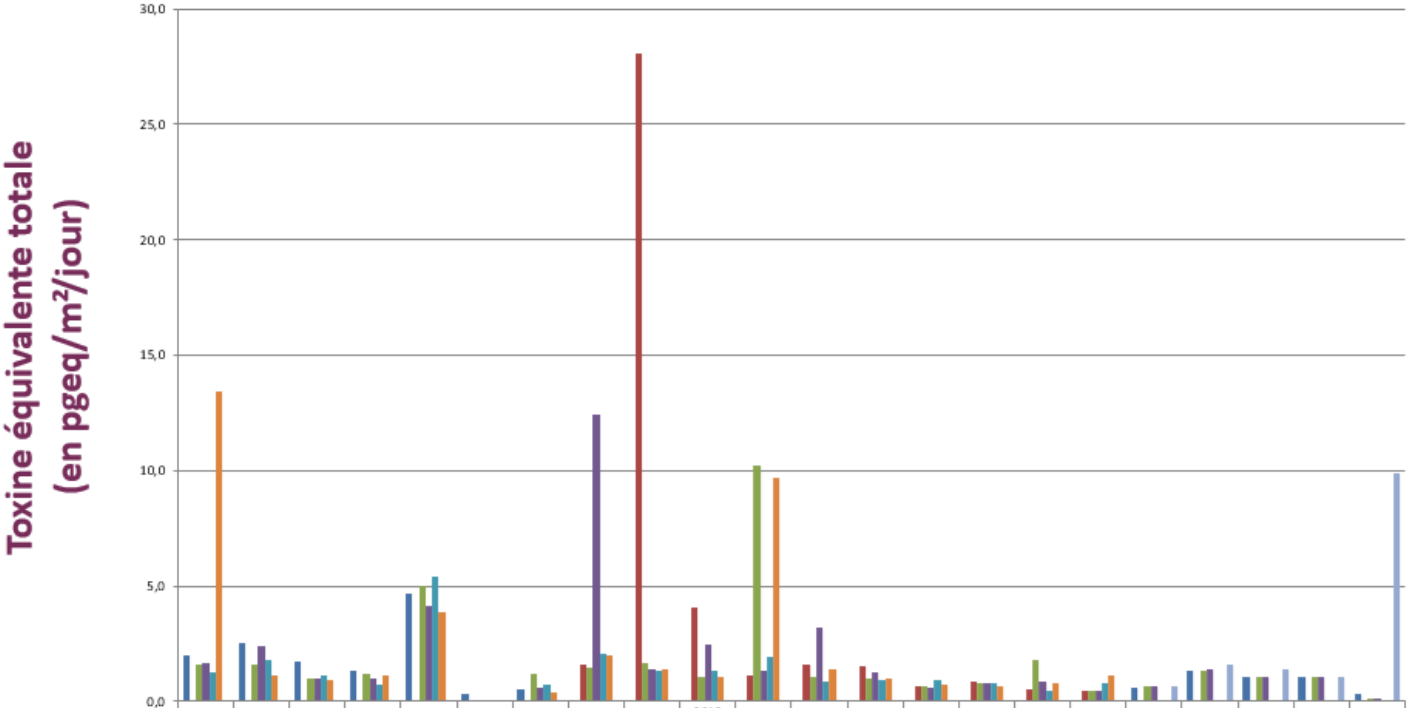
Les résultats montrent :

- Des niveaux faibles et homogènes entre les sites de la Gendarmerie, du stade Hauray et de Saint-Jean-de-Boiseau, quel que soit le pourcentage du temps sous les vents de l'UVE ;
- Une toxicité équivalente totale plus élevée sur le site de Basse-Indre, suggérant une influence locale ponctuelle durant la période printanière compte tenu de la faible proportion du temps sous les vents de l'UVE (~4 % du temps) et de la distance du site (~3 km). Par ailleurs, les niveaux des années précédentes sur ce site étaient faibles et proches des limites de détection.

L'ensemble de ces éléments suggère l'absence d'influence significative de l'UVE sur les retombées atmosphériques de dioxines et furanes dans son environnement.

Historique

Les toxicités équivalentes totales relevées en 2024 sont de même ordre de grandeur que celles relevées depuis 2014, excepté pour le site de Basse-Indre, hors influence de l'UVE car situé à 3 km de ce dernier, et sous ses vents durant 4 % du temps de la période printanière de cette année.



	2003 (24 juil - 11 sept.)	2004 (10 juin - 5 août)	2005 (7 juin - 10 août)	2006 (5 juillet - 23 août)	2007 (13 fév - 14 mars)	2008 (16 juil - 3 sept)	2009 (5 fév - 30 mars)	2010 (3 nov - 22 déc)	2011 (28 juil - 31 août)	2012 (5déc 12 - 30 janv 13)	2013 (8 nov - 26 déc)	2014 (6 juin - 31 juil)	2015 (18 fév - 10 avr)	2016 (3 aout - 6 nov)	2017 (7 mars - 9 mai)	2018 (5 sept - 14 nov)	2019 (9 oct - 27 nov)	2020 été + hiver	2021 été + hiver	2022 été + hiver	2023 été + hiver	2024 été + hiver
Gendarmerie	2,0	2,5	1,7	1,3	4,7	0,3	0,6											0,61	1,32	1,08	1,07	0,30
Métairie								1,6	28,1	4,0	1,1	1,6	1,5	0,66	0,84	0,55	0,47					
Couëron	1,6	1,6	1,0	1,2	5,0	0,1	1,2	1,5	1,7	1,0	10,2	1,1	1,0	0,64	0,78	1,80	0,45	0,62	1,32	1,06	1,07	0,12
St Jean de Boiseau	1,6	2,4	1,0	1,0	4,1	0,1	0,6	12,4	1,4	2,4	1,3	3,2	1,3	0,59	0,81	0,83	0,48	0,62	1,36	1,04	1,07	0,14
La Chauvinière	1,3	1,8	1,1	0,7	5,4	0,1	0,7	2,1	1,3	1,3	1,9	0,9	0,9	0,90	0,77	0,43	0,81					
La Tardière	13,4	1,1	0,9	1,1	3,8	0,0	0,4	2,0	1,4	1,1	9,7	1,4	1,0	0,74	0,68	0,76	1,13					
Basse-Indre																		0,63	1,58	1,37	1,08	9,88

Figure 6 : évolution des retombées en dioxines et furanes autour d'Arc-en-Ciel 2034 depuis 2003

Aucune influence de l'UVE n'avait été établie les années précédentes sur les retombées de dioxines et furanes. Les mesures 2024 s'inscrivent dans cet historique et confortent cette conclusion.

Dépôts de métaux lourds

Les métaux lourds arsenic, cadmium, plomb, nickel, cobalt, antimoine, manganèse, vanadium, cuivre, chrome et mercure ont été mesurés dans les retombées atmosphériques, et sont exprimés en quantité par unité de surface de collecte et par jour d'exposition (µg/m²/jour).

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats de mesure de retombées moyennes de métaux sur les trois sites dans l'environnement de l'UVE, durant la campagne printanière et hivernale de 2024-2025.

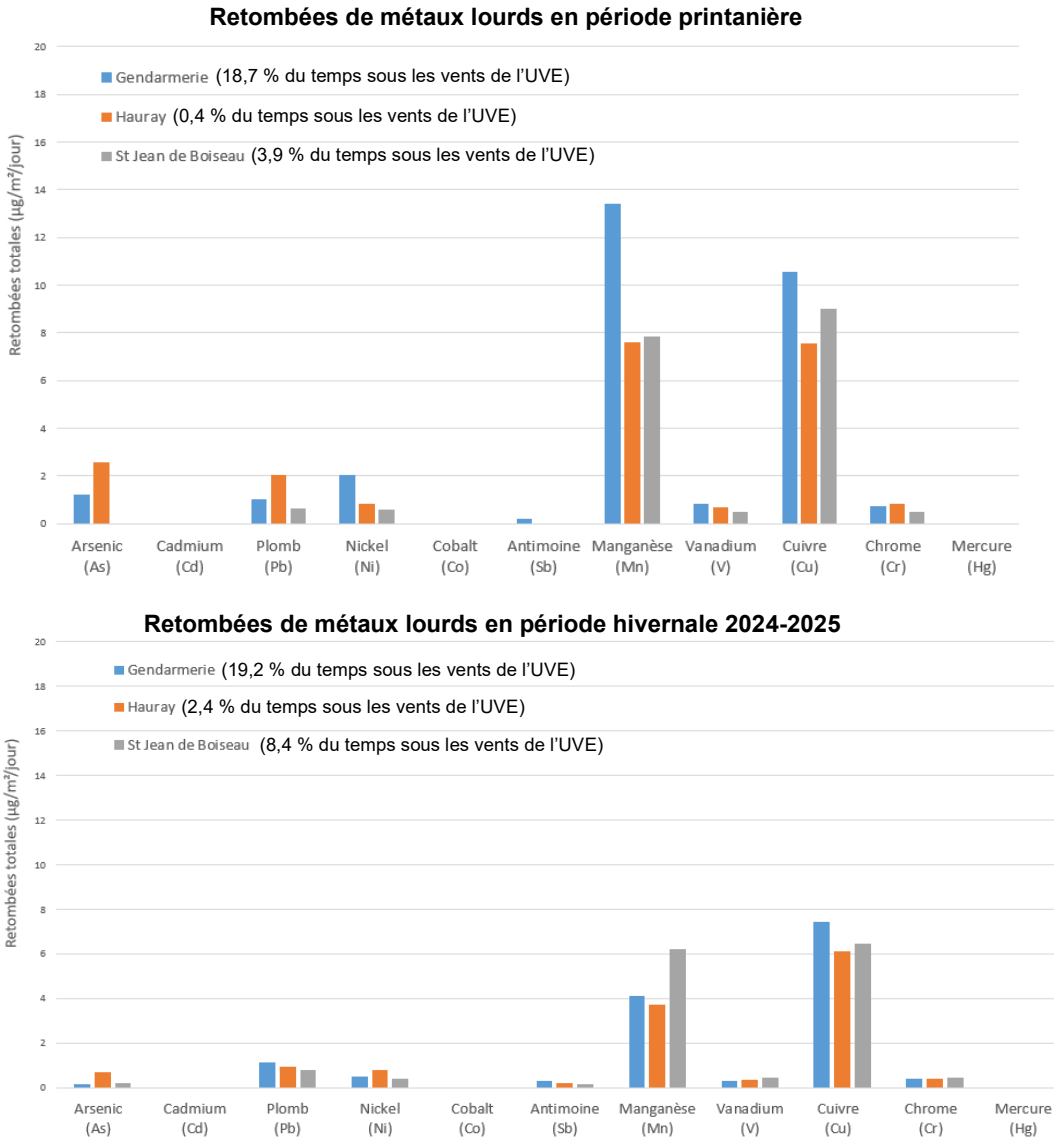


Figure 7 : dépôts des métaux lourds arsenic (As), cadmium (Cd), plomb (Pb), nickel (Ni), cobalt (Co), antimoine (Sb), manganèse (Mn), vanadium (V), cuivre (Cu), chrome (Cr) et mercure (Hg), au cours des 2 phases de la campagne de 2024

Les résultats montrent :

- Pour l'été et l'hiver, quel que soit le pourcentage de temps d'influence de l'UVE sur les différents sites, les retombées de métaux lourds sont de même ordre de grandeur et restent à des niveaux typiquement retrouvés en milieu de fond urbain.
- Les niveaux en manganèse enregistrés sur les différents sites sont décorrélés du temps passé sous les vents de l'UVE et ne sont donc pas attribués à ce dernier.

Comparaison aux valeurs historiques

Les flux de dépôts de métaux en 2024 sont inférieurs à ceux relevés les années précédentes, notamment vis-à-vis du manganèse et du vanadium. Les flux relevés sont dans les mêmes ordres de grandeur que ceux observés en zone rurale.

Les niveaux relevés à proximité d'Arc-en-Ciel 2034 sont inférieurs aux valeurs réglementaires existantes en Allemagne et en Suisse concernant l'arsenic, le cadmium, le nickel et le plomb.

L'ensemble de ces observations suggère que l'UVE n'a pas d'incidence spécifique sur l'exposition aux retombées de métaux lourds dans son environnement.

Flux de dépôt de métaux (µg/m²/j)	Zone rurale*	Zone urbaine*	Arc-en-Ciel 2034 hiver 2019	Arc-en-Ciel 2034 (été + hiver) 2020	Arc-en-Ciel 2034 (été + hiver) 2021	Arc-en-Ciel 2034 (été + hiver) 2022	Arc-en-Ciel 2034 (été + hiver) 2023	Arc-en-Ciel 2034 (été + hiver) 2024	Valeurs réglementaires allemandes et suisses
Arsenic	.	0,05 – 1,3	0,4 – 0,5	0,1 – 0,7	0,1 – 0,7	0,3 – 2,0	0,2 – 1	0,2 – 1,2	4
Cadmium	0,2 – 0,9	0,3 – 3,0	0,3 – 0,5	0,05 – 0,13	0,05 – 1,2	< LQ	0,01 – 0,1	< LQ	2
Cobalt				0,1 – 0,6	0,1 – 2,2	1,0	0,1	< LQ	
Manganèse	7,2 - 14,7	8,5 – 24,6	8,1 – 12,6	2,2 – 18,2	3,2 – 98,8	6,1 – 67,6	3 – 50,5	4,1 – 13,4	
Nickel	1,6 – 3,7	1,0 – 22,9	1,6	0,9 – 1,8	0,5 – 4,5	0,6 – 3,5	0,4 – 3,7	0,4 – 2,0	15
Plomb	3,3 – 10,3	0,4 – 106	1,2 – 1,4	0,1 – 8,2	0,1 – 10,5	0,02 – 3,9	0,3 – 2,9	0,6 – 1,1	100
Vanadium				0,6 – 1,6	0,1 – 16,2	0,1 – 10,6	0,5 – 2,3	0,3 – 0,8	
Antimoine				0,1 – 1,4	< LQ	< LQ	0,1 – 0,3	0,2 – 0,3	
Mercure				< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1

Tableau 7 : flux moyens de dépôt total de métaux recensés dans la littérature[1 à 13], et valeurs de référence en Allemagne et en Suisse (définies en moyennes annuelles)
** études menées en France et dans d'autres pays*

[1] Garnaud, "Transfert et évolution géochimique de la pollution métallique en bassin versant, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris," 1999,

[3] P, Rossini, S, Guerzoni, E, Molinaroli, G, Rampazzo, A, De Lazzari, and Z, A,, "Atmospheric bulk deposition to the lagoon of Venice," *Environmental International*, vol, 31, pp, 959–974, 2005,

[4] R, Huston, Y, Chan, T, Gardner, G, Shaw, and H, Chapman, "Characterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks," *Water Research*, vol, 43, pp, 1630–1640, 2009,

[5] C, Wong, X, Li, G, Zhang, S, Qi, and X, Peng, "Atmospheric deposition of heavy metals in the Pearl River Delta, China," *Atmospheric Environment*, vol, 37, pp, 767–776, 2003,

[6] S, Azimi, "Sources, flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux en Ile-de-France, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris," 2004,

[7] L, Sabin, J, Lim, K, Stolzenbach, and K, Schiff, "Contribution of trace metals from atmospheric deposition to stormwater runoff in a small impervious urban catchment," *Water Research*, vol, 39, pp, 3929–3937, 2005,

[8] Air Pays de la Loire, "évaluation de la qualité de l'air dans l'environnement de l'UVE Arc-en-Ciel, campagne 2015," septembre 2015,

[9] Ascoparg, Coparly, and Sup'air, "Plan de surveillance dioxines et métaux lourds : mesures de métaux lourds dans les retombées atmosphériques 2006-2007,"

[10] Air Languedoc-Roussillon, "Surveillance de l'environnement de l'incinérateur de Lunel-Viel, Bilan 2006 – Résumé," 2006,

[11] V, Sandroni and C, Migon, "Atmsopheric deposition of metallic pollutants over the ligurian sea : labile and residual inputs," *Chemosphere*, vol, 47, pp, 753–764, 2002,

[12] J, Injuk, R, Van Grieken, and G, De Leeuw, "Deposition of atmospheric trace elements into the North Sea: coastal, ship, platform measurements and model predictions," *Atmospheric environment*, vol, 32, pp, 3011–3025, 1997,

[13] Air Pays de la Loire, "Evaluation de la pollution atmosphérique du quartier Pin Sec à Nantes, rapport d'étude, sous presse," 2009,

Mesures de concentrations atmosphériques

Acide chlorhydrique en phase gazeuse

Résultats

Le tableau suivant présente l'évolution des concentrations en acide chlorhydrique (HCl) relevées au cours de la séquence printanière, puis hivernale, sur les 3 sites de mesure.

Printemps 2024	**Gendarmerie µg/m³** ***(% sous les vents)***	**Hauray µg/m³** ***(% sous les vents)***	**St-Jean-de-Boiseau µg/m³** ***(% sous les vents)***
Moyenne	**0,25** ***(19 %)***	**0,43** ***(0 %)***	**0,39** ***(4 %)***
Semaine 1	0,21 *(37 %)*	0,33 *(0 %)*	0,24 *(1 %)*
Semaine 2	0,44 *(1 %)*	0,50 *(0 %)*	0,49 *(5 %)*
Semaine 3	0,32 *(1 %)*	0,53 *(0 %)*	0,48 *(7 %)*
Semaine 4	0,05 *(38 %)*	0,37 *(1 %)*	0,35 *(3 %)*

Hiver 2024	**Gendarmerie µg/m³** ***(% sous les vents)***	**Hauray µg/m³** ***(% sous les vents)***	**St-Jean-de-Boiseau µg/m³** ***(% sous les vents)***
Moyenne	**0,45** ***(19 %)***	**0,32** ***(2 %)***	**0,09** ***(8 %)***
Semaine 1	0,52 *(20 %)*	0,09 *(0 %)*	0,06 *(0 %)*
Semaine 2	0,42 *(16 %)*	0,77 *(2 %)*	0,07 *(4 %)*
Semaine 3	0,28 *(18 %)*	0,17 *(0 %)*	0,09 *(0 %)*
Semaine 4	0,60 *(22 %)*	0,25 *(0 %)*	0,15 *(0 %)*

Tableau 8 : évolution des concentrations atmosphériques en acide chlorhydrique, au cours de la phase printanière (en haut) et de la phase hivernale (en bas) de la campagne de mesure de 2024. Le pourcentage de temps où chaque site était sous les vents de l'UVE par semaine est indiqué entre parenthèses

Les concentrations d'acide chlorhydrique relevées en 2024 sont de même ordre sur les trois sites, quelle que soit la proportion du temps sous les vents de l'UVE.

Par ailleurs, les concentrations sont faibles au regard de la valeur toxicologique de référence de l'OEHHA (2000), fixée à 9 µg/m³ en moyenne annuelle.

Influence de l'UVE sur les concentrations en HCl

Le graphique suivant indique la relation entre les concentrations hebdomadaires relevées en acide chlorhydrique sur les 3 sites, et le pourcentage de temps où chacun des sites a été sous les vents de l'UVE.

Aucune corrélation entre concentrations et pourcentage du temps sous les vents de l'UVE ne ressort. Cela indique l'absence d'influence décelable des émissions de l'UVE sur les teneurs en HCl mesurées à proximité.

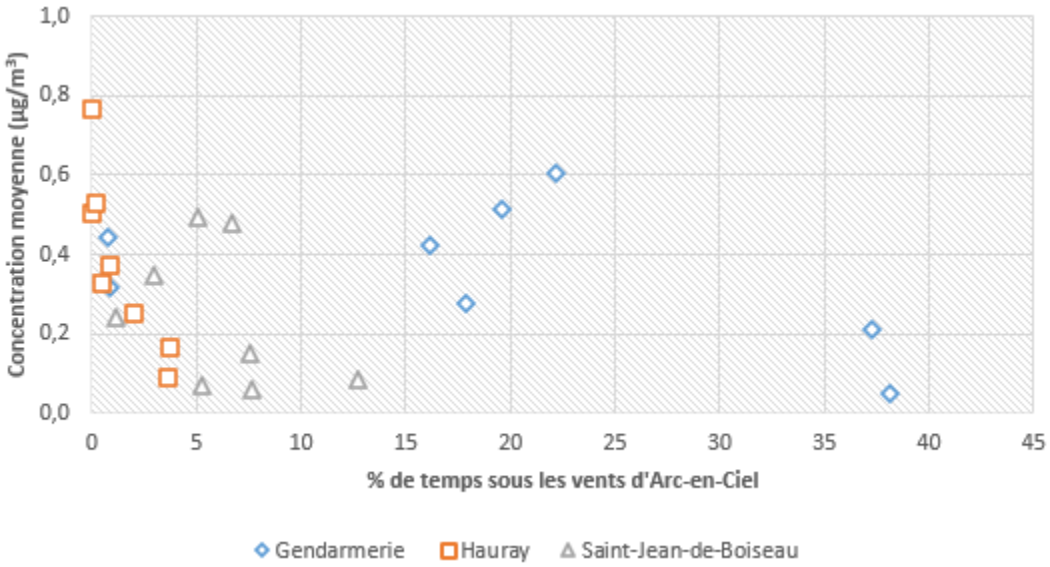
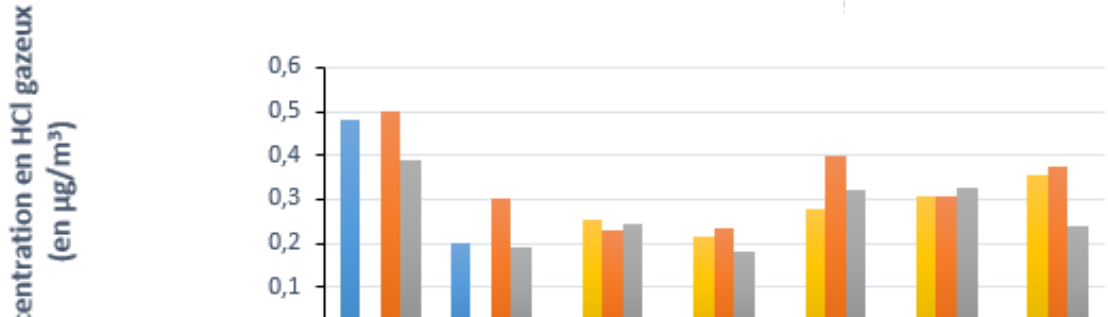


Figure 8 : corrélation entre les concentrations moyennes en acide chlorhydrique en phase gazeuse et le pourcentage de temps passé sous les vents d'Arc-en-Ciel 2034 pour chacun des sites, sur les 8 semaines de mesure

Historique

Les niveaux d'acide chlorhydrique en moyenne en 2024 (entre 0,24 et 0,38 µg/m^3 en moyenne selon les sites) s'inscrivent dans la continuité des niveaux relevés les années précédentes et sont proches de ceux retrouvés habituellement en milieu urbain.



	2018	2019	2020 (été + hiver)	2021 (été + hiver)	2022 (été + hiver)	2023 (été + hiver)	2024 (été + hiver)
Ecole de la Métairie (Couëron)	0,48	0,20					
Gendarmerie (Couëron)			0,26	0,22	0,28	0,31	0,35
Stade Hauray	0,50	0,30	0,23	0,24	0,40	0,31	0,38
Saint-Jean-de-Boiseau	0,39	0,19	0,25	0,18	0,32	0,33	0,24

Figure 9 : historique des concentrations en acide chlorhydrique gazeux depuis 2018, sur 3 sites autour d'Arc-en-Ciel 2034. Le site de la Gendarmerie à Couëron a remplacé, depuis 2020, le site de l'école de la Métairie

Acide fluorhydrique dans l'air

Méthodologie

L'acide fluorhydrique a été prélevé à l'aide de tubes à diffusion passive Radiello code 166, avec une fréquence hebdomadaire, puis envoyé en laboratoire pour l'analyse chimique. Chaque mesure est donc une concentration moyenne sur 7 jours.

Pour chacun des sites étudiés (Gendarmerie, Saint-Jean-de-Boiseau et stade Hauray), les tubes sont installés en doublon afin d'attester de la représentativité des mesures, et un blanc de terrain est réalisé.

Figure 10 : boîte d'exposition des tubes, placée dans un corps diffusif bleu Radiello à l'aide d'un support triangulaire (à gauche). Tubes Radiello code 166 à usage unique (à droite)

Résultats

L'ensemble des mesures de concentrations en acide fluorhydrique, au printemps comme en hiver, est inférieur aux limites de détection (< 0,17 µg/m^3) quel que soit le site considéré, qu'il soit exposé aux vents en provenance d'Arc-en-Ciel 2034 ou non. De ce fait, l'influence de l'UVE ne peut être établie pour ce polluant.

Ce constat avait déjà été fait en 2020, 2021, 2022 et 2023.

Compte tenu des niveaux inférieurs aux limites de détection sur l'ensemble des sites de prélèvement depuis 5 ans, le début des mesures, ce polluant sera retiré du dispositif à compter de la campagne de 2025.

Métaux lourds dans l'air

Parmi les métaux mesurés, seuls le plomb, l'arsenic, le cadmium et le nickel sont réglementés dans l'air ambiant

- **Pour le plomb :** une **valeur limite** de 500 ng/m^3 et un **objectif de qualité** de 250 ng/m^3 en moyenne annuelle.
- **Pour l'arsenic,** une **valeur cible** de 6 ng/m^3 en moyenne annuelle.
- **Pour le cadmium**, une **valeur cible** de 5 ng/m^3 en moyenne annuelle.
- **Pour le nickel,** une **valeur cible** de 20 ng/m^3 en moyenne annuelle.

Méthodologie

La concentration en métaux lourds dans l'air est déterminée en aspirant un volume d'air donné au travers d'un filtre qui est ensuite analysé en laboratoire (voir annexe 8 pour les coordonnées du laboratoire) pour y déterminer la quantité d'arsenic, de cadmium, de plomb, de nickel, de chrome, de cuivre et de manganèse. À cette quantité est soustrait un blanc, mesuré sur un filtre non exposé.

Les mesures seront mises en perspective avec les valeurs réglementaires présentées ci-dessous. Les valeurs réglementaires étant calculées sur une année civile, une comparaison stricte des niveaux enregistrés sur les 8 semaines ne peut être établie.

Métal	Valeur réglementaire Moyenne annuelle (ng/m^3)	Réglementation
arsenic As	6 (valeur cible)	Décret 2010-1250
cadmium Cd	5 (valeur cible)	Décret 2010-1250
nickel Ni	20 (valeur cible)	Décret 2010-1250
plomb Pb	500 (valeur limite) 250 (objectif de qualité)	Décret 2010-1250
cadmium Cd	5	Recommandation OMS
manganèse Mn	150	Recommandation OMS

Tableau 9 : valeurs réglementaires et cibles pour les métaux dans l'air

Résultats

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats des concentrations mesurées dans l'air pour chaque métal, par site, au cours de la campagne printanière puis de la campagne hivernale.

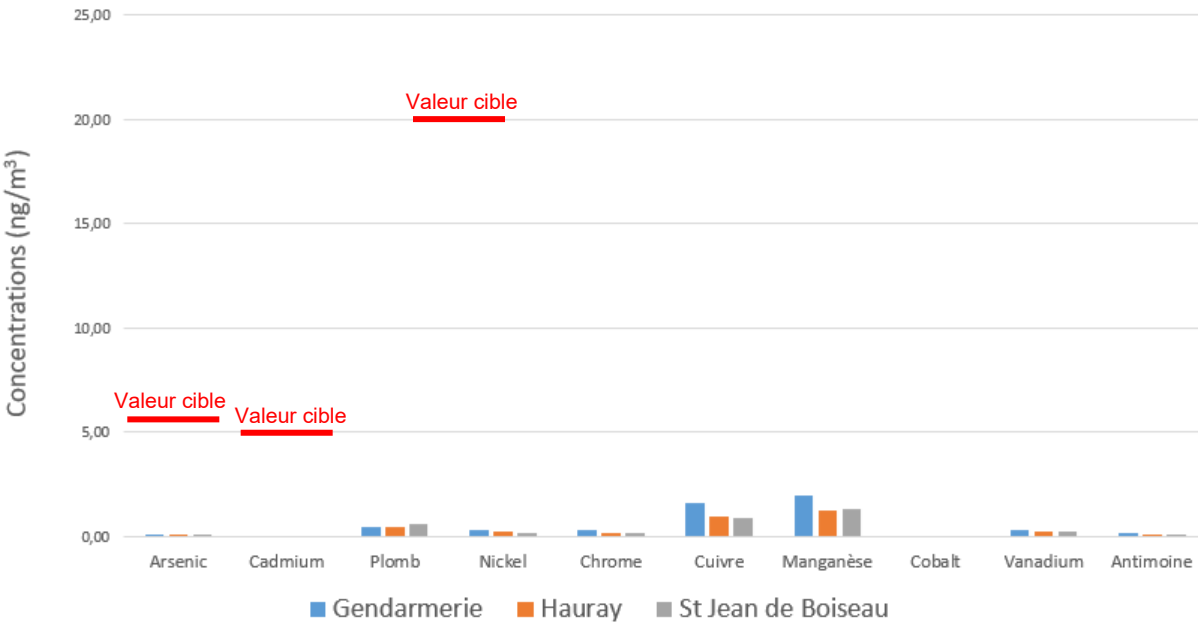


Figure 11 : concentrations moyennes (sur 4 semaines) en métaux lourds mesurées pendant la phase printanière

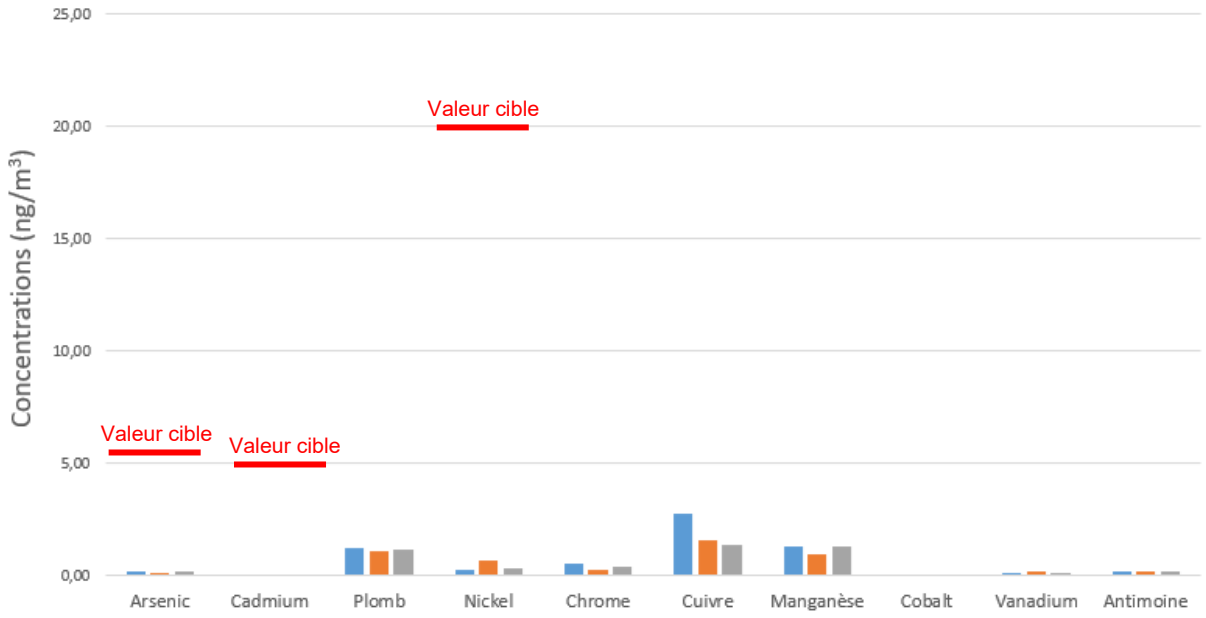


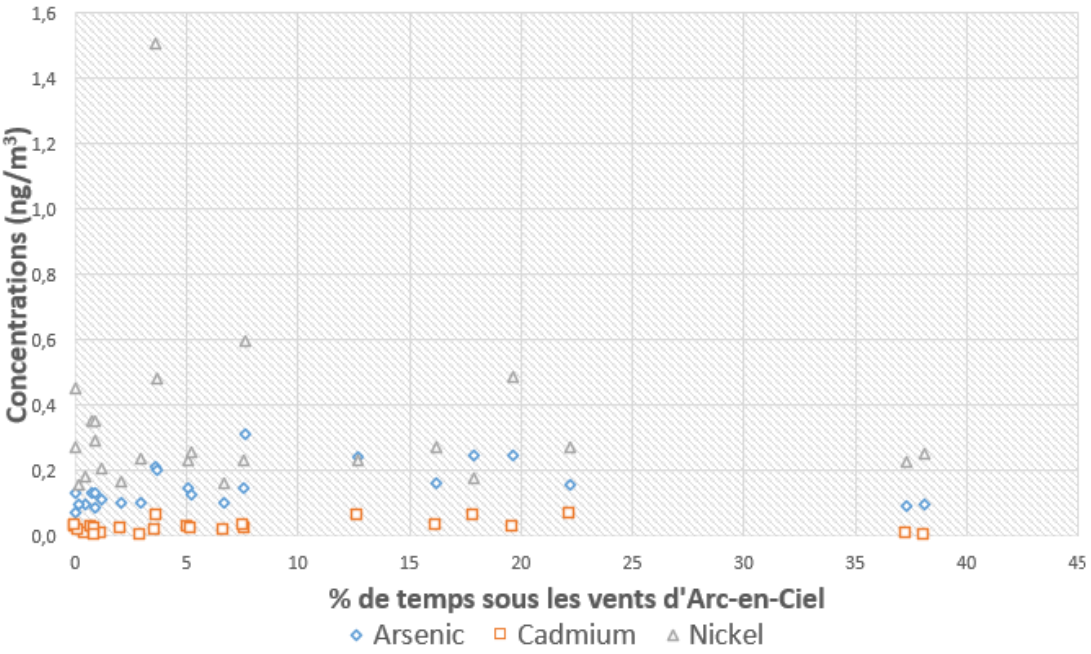
Figure 12 : concentrations moyennes (sur 4 semaines) en métaux lourds mesurées pendant la phase hivernale

Aucune différence significative n'est relevée entre les niveaux relevés sur les différents sites de mesure.

Les polluants réglementés (As, Cd, Pb et Ni) enregistrent des concentrations très inférieures aux valeurs règlementaires (entre 30 et 500 fois inférieures aux valeurs réglementaires selon les polluants), au printemps comme en hiver, sur les 8 semaines de mesure au total. Il est donc considéré comme probable que ces valeurs réglementaires soient respectées sur une année entière.

Influence de l'UVE sur les concentrations en métaux

Les graphiques ci-dessous montrent la relation entre les concentrations hebdomadaires relevées en métaux lourds sur l'ensemble des sites et le pourcentage de temps où les sites ont été sous les vents de l'UVE. Il en ressort qu'aucune corrélation ne se distingue entre les concentrations et le temps passé sous influence de l'industrie, pour l'ensemble des métaux, démontrant l'absence d'influence des émissions d'Arc-en-Ciel 2034 sur les teneurs atmosphériques mesurées à proximité.



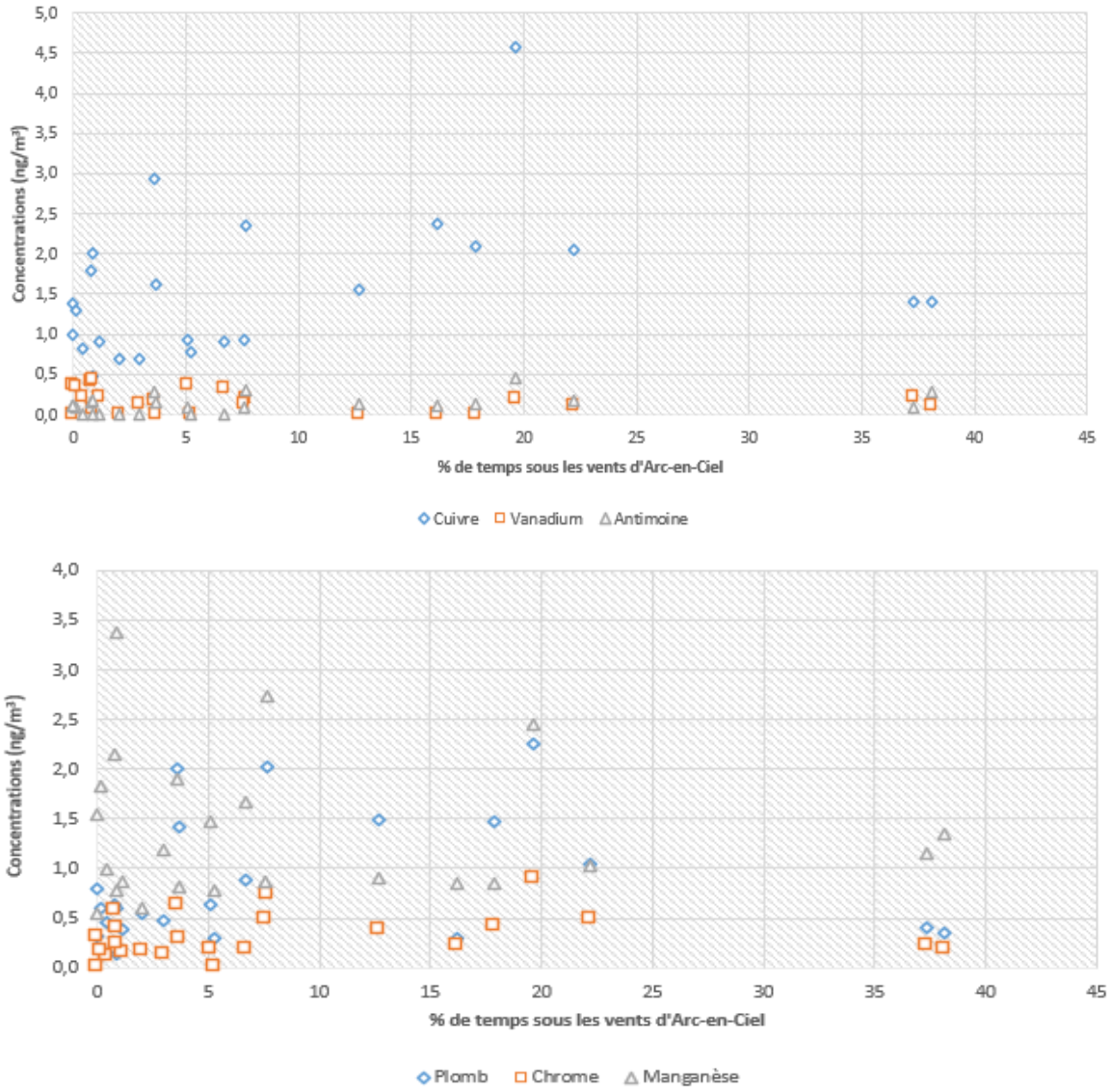


Figure 13 : corrélation entre la concentration moyenne hebdomadaire en métaux lourds sur l'ensemble des sites, et le pourcentage de temps passé sous les vents d'Arc-en-Ciel 2034. En haut : pour l'arsenic, le cadmium et le nickel ; au milieu : pour le plomb, le chrome et le manganèse ; en bas : pour le cuivre, le vanadium et l'antimoine

Toutefois, une étude statistique approfondie (test ANOVA, cf. annexe 9) a permis de mettre en évidence une différence significative sur les teneurs en cuivre relevées sur le site de la Gendarmerie par rapport aux 2 autres sites durant la phase printanière. Dans la mesure où aucune corrélation n'a été observée entre les concentrations en cuivre et le pourcentage de temps où la Gendarmerie est sous les vents de l'UVE, il en ressort que la différence significative de ces concentrations de cuivre entre la Gendarmerie et les 2 autres sites relève plutôt d'une influence locale, indépendante d'Arc-en-Ciel 2034. Cette constatation avait également été observée lors des campagnes de 2021 et 2022.

Historique

Les mesures de 2024, sur les trois sites, s'inscrivent dans la continuité des mesures des années précédentes, avec des valeurs de même ordre ou inférieures à celles relevées en 2023. Une baisse généralisée est observée depuis 2012, notamment sur le cuivre (Cu), manganèse (Mn), nickel (Ni) et plomb (Pb)

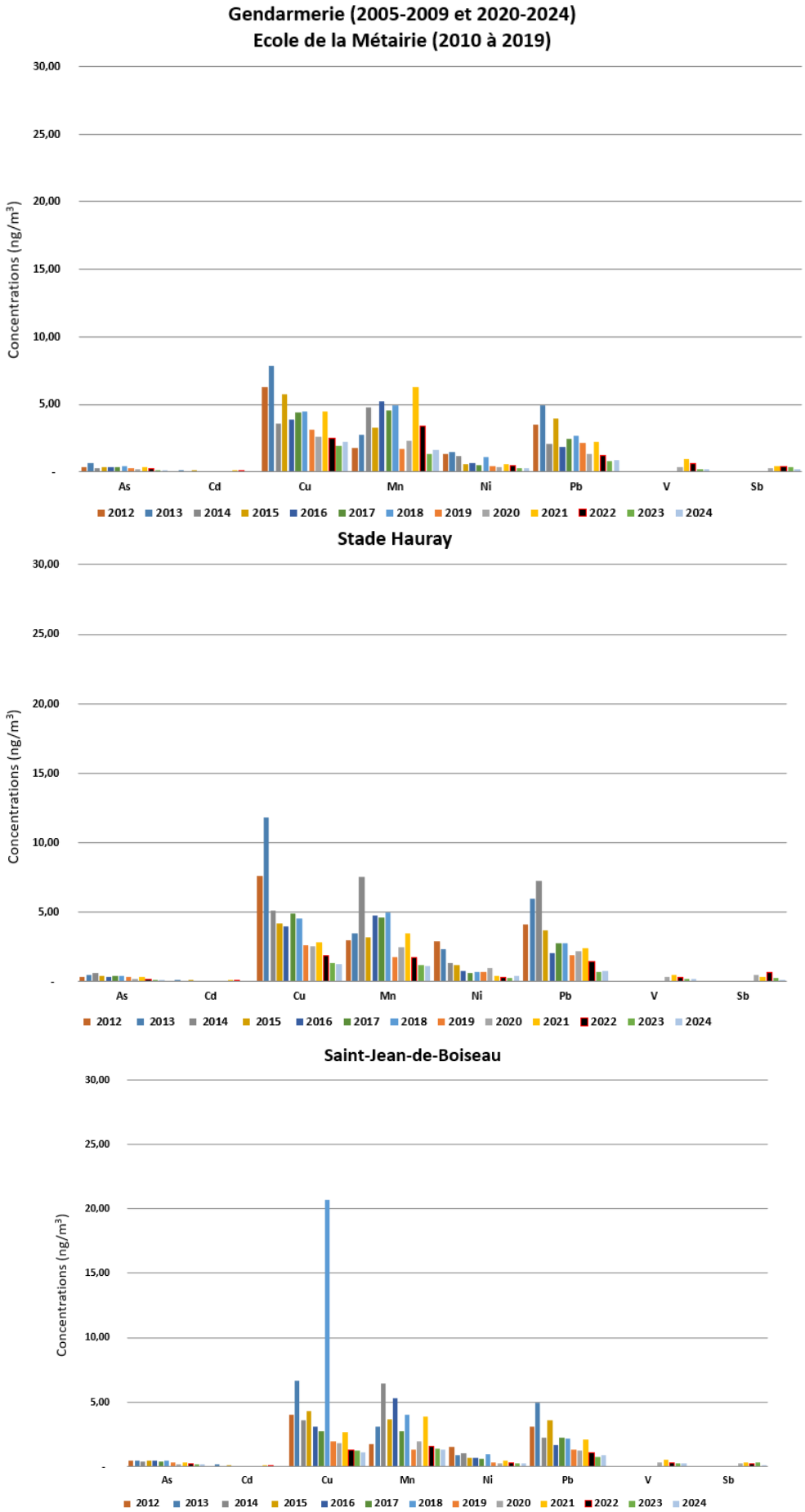


Figure 6 : évolution des concentrations en métaux lourds depuis 2012, pour chaque site autour d'Arc-en-Ciel 2034

Résultats des mesures automatiques

VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LA QUALITÉ DE L'AIR

Les valeurs guides de l'OMS : *NON CONTRAIGNANTES*

L'OMS (Organisation mondiale de la santé) détermine les niveaux d'exposition (en concentrations et durées) pour protéger la santé des populations et des végétaux, ce sont les « valeurs guides ». Ces lignes directrices visent à donner des conseils sur la façon de réduire les effets sanitaires de la pollution de l'air aux responsables de l'élaboration des politiques. Les dernières valeurs guides publiées par l'OMS datent de septembre 2021.

Les valeurs réglementaires :

Les concentrations de polluants dans l'air sont réglementées au niveau européen dans des directives, et sont déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

- **Seuils de déclenchement des épisodes de pollution :** *exposition court terme à une pollution aigüe (1h à 24h)*

CONTRAIGNANTES

- **Seuil d'information et de recommandation** : 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.

- **Autres seuils réglementaires :** *exposition court terme à long terme (1h à 1 an)*

CONTRAIGNANTE

- **Valeur limite** : niveau maximal de pollution atmosphérique, fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution sur la santé humaine et/ou l'environnement.

NON CONTRAIGNANTES

- **Objectif de qualité** : niveau de pollution atmosphérique à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution sur la santé humaine et/ou l'environnement.
- **Valeur cible** : niveau à atteindre dans la mesure du possible dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de la pollution sur la santé humaine et/ou l'environnement.

Dioxyde d'azote NO_2

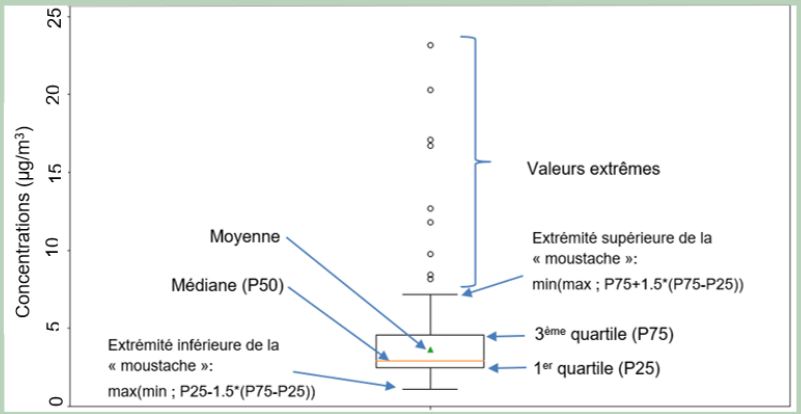
Les concentrations en dioxyde d'azote sont réglementées à 3 niveaux :

- Une **valeur limite et un objectif de qualité en moyenne annuelle** fixés 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** fixé à 200 µg/m³ en moyenne horaire, et un seuil d'alerte fixé à 400 µg/m³ en moyenne horaire
- *À titre d'information, l'OMS (2021) préconise une valeur guide de 200 µg/m³ en moyenne horaire, 25 µg/m³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an, et 10 µg/m³ en moyenne annuelle.*

La figure ci-dessous représente sous forme de bloxplot (*cf. encadré Méthodologie*) la distribution statistique des concentrations horaires relevées tout au long de la campagne de mesure.

Méthodologie

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



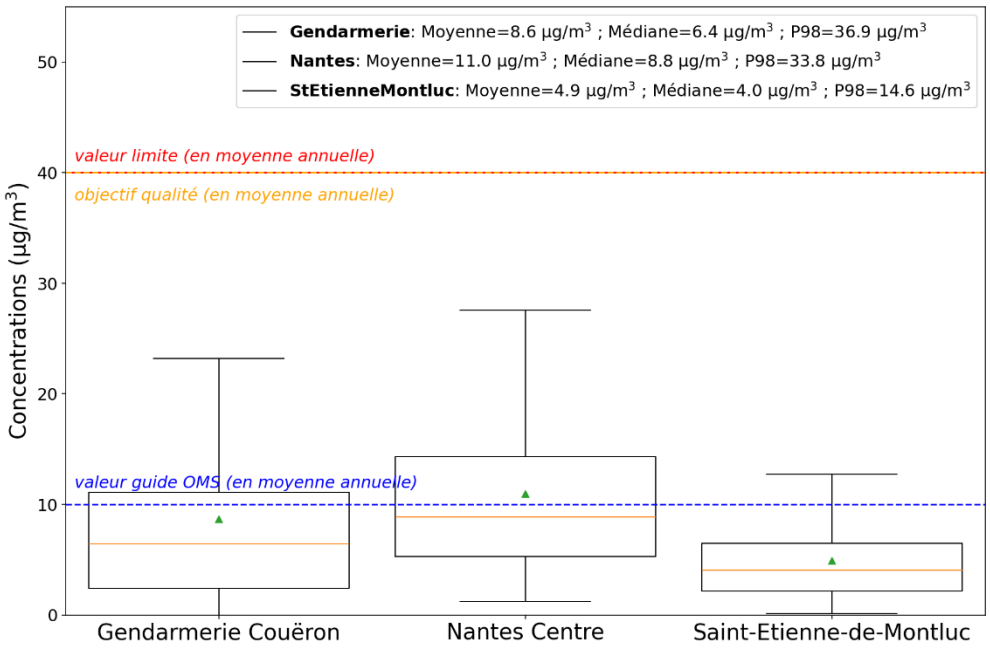


Figure 7 : boxplot des concentrations horaires de NO_2 sur la campagne hivernale 2024, pour chaque site

Ces résultats montrent que :

- La concentration moyenne en NO_2 sur le site de la Gendarmerie (8,6 µg/m³) est inférieure à celle relevées en milieu urbain (11 µg/m³ à Nantes), et supérieure au milieu rural (4,9 µg/m³ à Saint-Etienne-de-Montluc).
- Du point de vue de la réglementation, par comparaison à la station urbaine du centre de Nantes qui respecte la valeur limite en moyenne annuelle, il est probable que ce seuil soit également respecté sur le site de Couëron.
- Un respect de la valeur guide annuelle de l'OMS (10 µg/m³ en moyenne annuelle) est également probable compte tenu des niveaux plus faibles enregistrés à la gendarmerie de Couëron par rapport à Nantes.

Le graphique suivant présente l'évolution des concentrations maximums horaires journaliers :

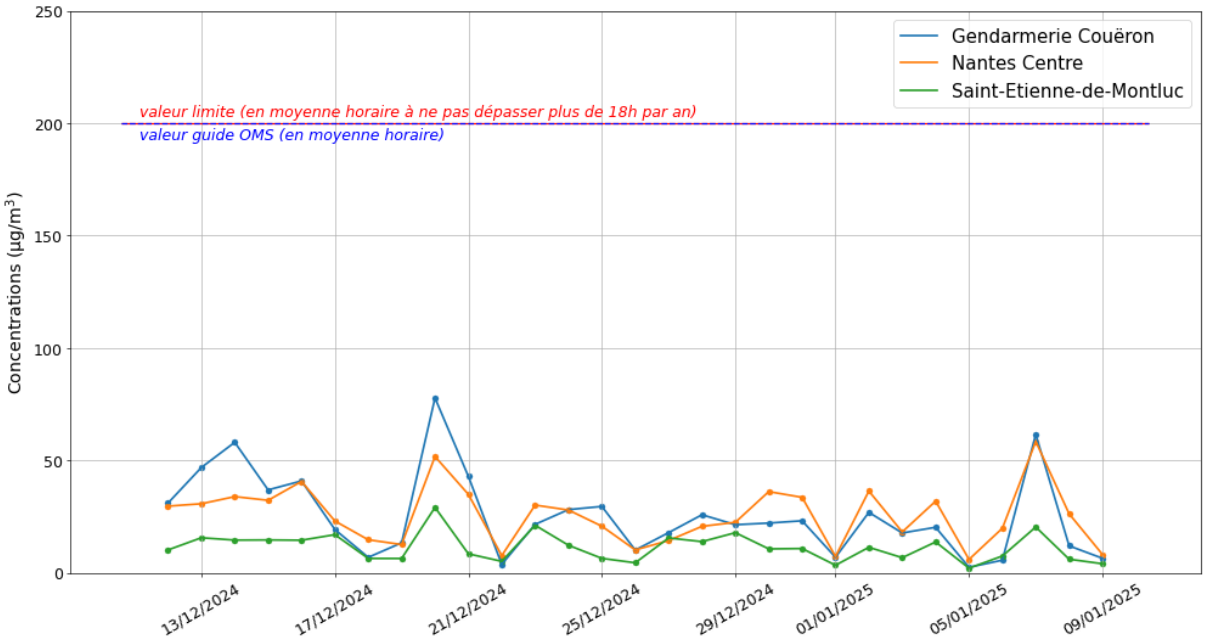


Figure 8 : évolution de la concentration maximum-horaire journalière en NO_2 durant la campagne 2024, pour chaque site, dont 2 non influencés par l'UVE

Avec une concentration horaire maximale de 77,8 µg/m³ relevée à Couëron le 20 décembre 2024, aucune des valeurs maximum-horaires relevées quotidiennement au cours de la campagne sur l'ensemble des sites considérés ne dépasse la valeur guide de l'OMS, fixée à 200 µg/m³ en moyenne horaire. Un respect de la valeur limite (à ne pas dépasser plus de 18h par an) est probable.

L'évolution des concentrations moyennes journalières de NO_2, au cours de la campagne, est présentée dans la suite :

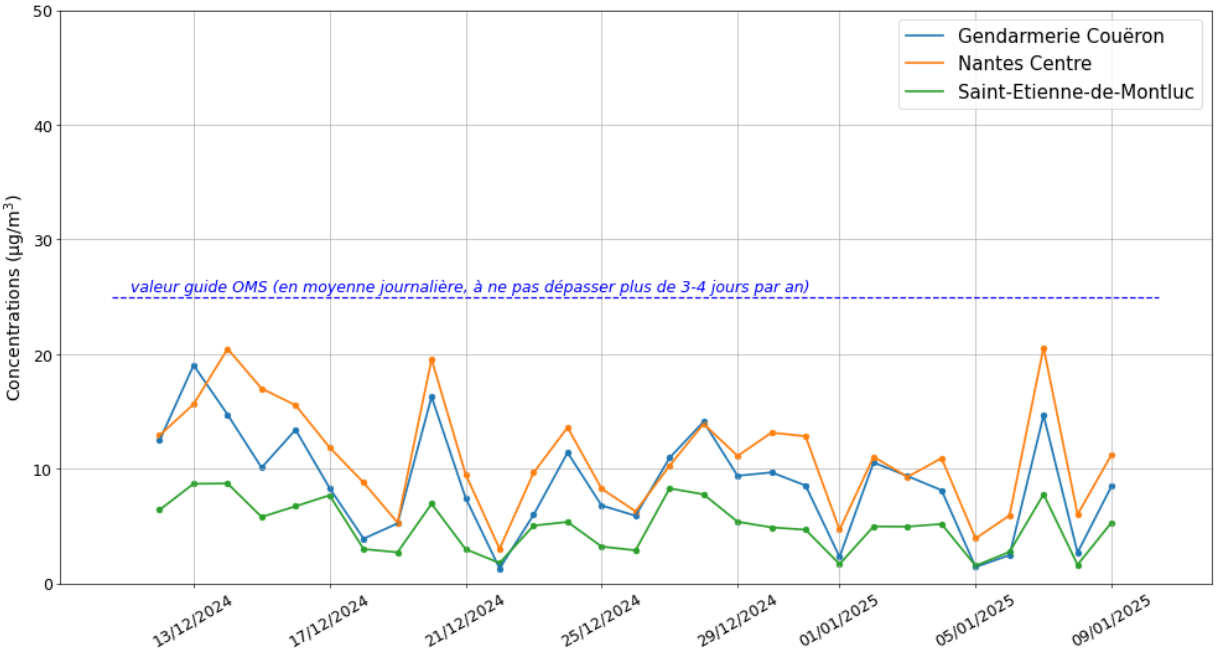


Figure 9 : évolution de la concentration moyenne journalière en NO_2 durant la campagne 2024, pour chaque site, dont 2 non influencés par l'UVE

L'évolution des concentrations journalières montre une bonne corrélation entre les niveaux à Couëron et à Nantes, mais des niveaux plus faibles à Couëron. Cela s'explique par une plus faible influence du trafic routier sur le site de la gendarmerie de Couëron par rapport au site urbain de Nantes. Un dépassement de la valeur guide de l'OMS de 25 µg/m³ en moyenne journalière (à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an) n'est toutefois pas à exclure compte tenu du dépassement de cette valeur en 2022 et 2023 sur l'ensemble des sites permanents de Nantes.

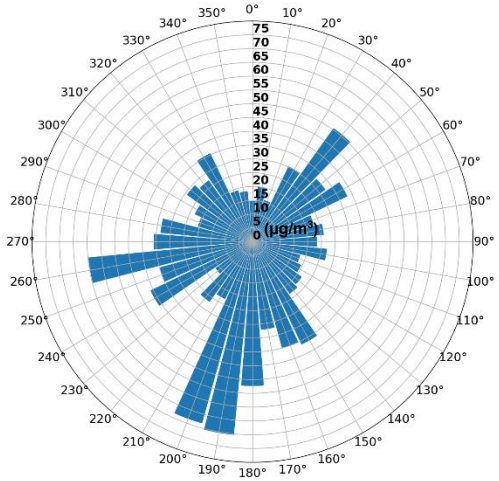
Une rose de pollution (*cf. encadré méthodologique ci-dessous*) est tracée afin de localiser les directions pour lesquelles les concentrations sont les plus élevées.

Méthodologie

La localisation des zones d'émission se base sur l'étude des roses de concentration (roses de pollution) enregistrées sur le site de Couëron.

Ce type de graphique indique les niveaux de polluant en fonction de la direction des vents enregistrés par Météo-France à l'aéroport Nantes-Atlantique. Sur un site donné, il permet de savoir sous quelle direction de vent les niveaux sont les plus élevés et ainsi de localiser les zones d'émissions prépondérantes.

La manière de lire une rose de pollution est la suivante : dans une direction donnée, la longueur de la pale correspond aux niveaux de concentrations relevés lorsque le capteur est exposé à des vents de cette direction.



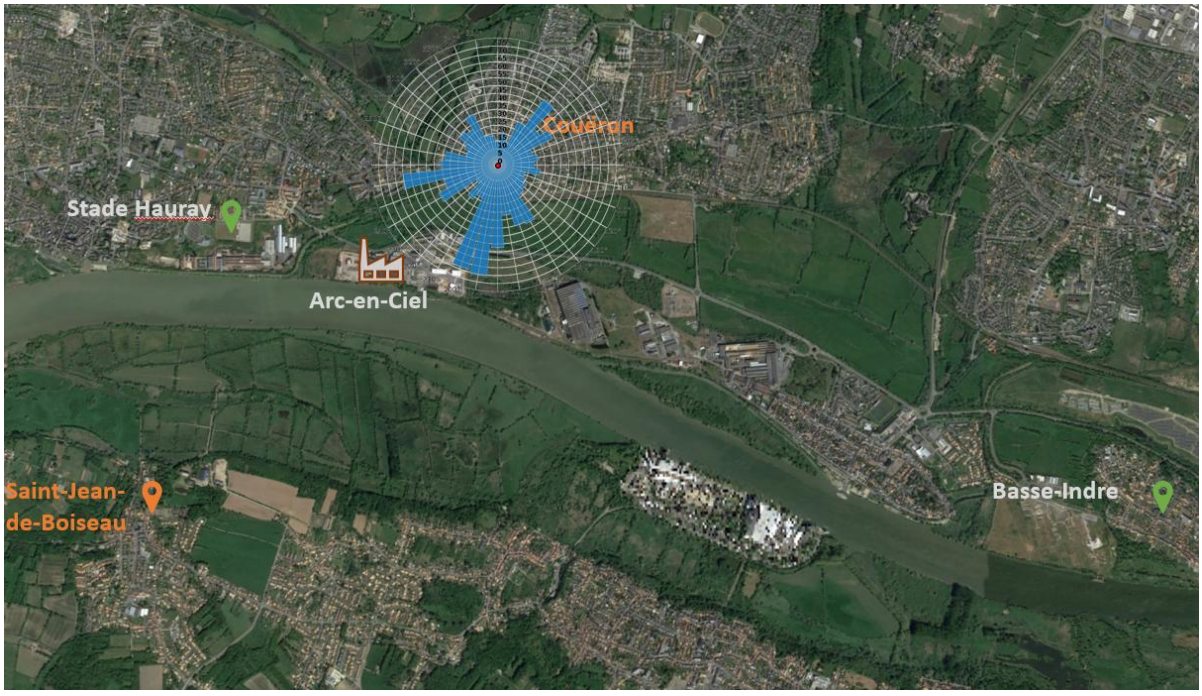


Figure 10 : rose de pollution des concentrations de pointe (P98) en NO_2 mesurées sur le site de la Gendarmerie, à Couëron

La rose de pollution fait apparaître les directions 190-200°N, avec une valeur de percentile 98 autour des 70 µg/m^3 dans ces directions. L'UVE se situant dans les directions 210-240°N, ces niveaux plus élevés qu'ailleurs ne sont pas attribués à Arc-en-Ciel 2034. On remarque par ailleurs que ces directions apparaissent comme étant également plus élevées sur les sites de Nantes et de Saint-Etienne-de-Montluc (cf. annexe 4), traduisant d'une influence régionale plutôt que locale.

La rose de pollution ne fait pas apparaitre d'influence particulière dans les directions de l'UVE.

Particules PM10

Les concentrations en particules fines PM10 sont réglementées en France à 4 niveaux :

- Un **seuil d'information et de recommandation** fixé à 50 µg/m^3 en moyenne journalière et d'un **seuil d'alerte** fixé à 80 µg/m^3 en moyenne journalière.
- Cette valeur journalière de 50 µg/m^3 ne doit pas être dépassée plus de 35 jours par an (valeur limite en moyenne journalière).
- La moyenne annuelle des concentrations fait elle aussi l'objet d'une **valeur limite** fixée à 40 µg/m^3, et d'un **objectif de qualité** fixé à 30 µg/m^3.
- *À titre d'information, l'OMS (2021) indique une valeur guide de 45 µg/m^3 en moyenne journalière, à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an, et 15 µg/m^3 en moyenne annuelle.*

La figure ci-dessous représente, sous forme de bloxplot, la distribution statistique des concentrations horaires relevées tout au long de la campagne de mesure.

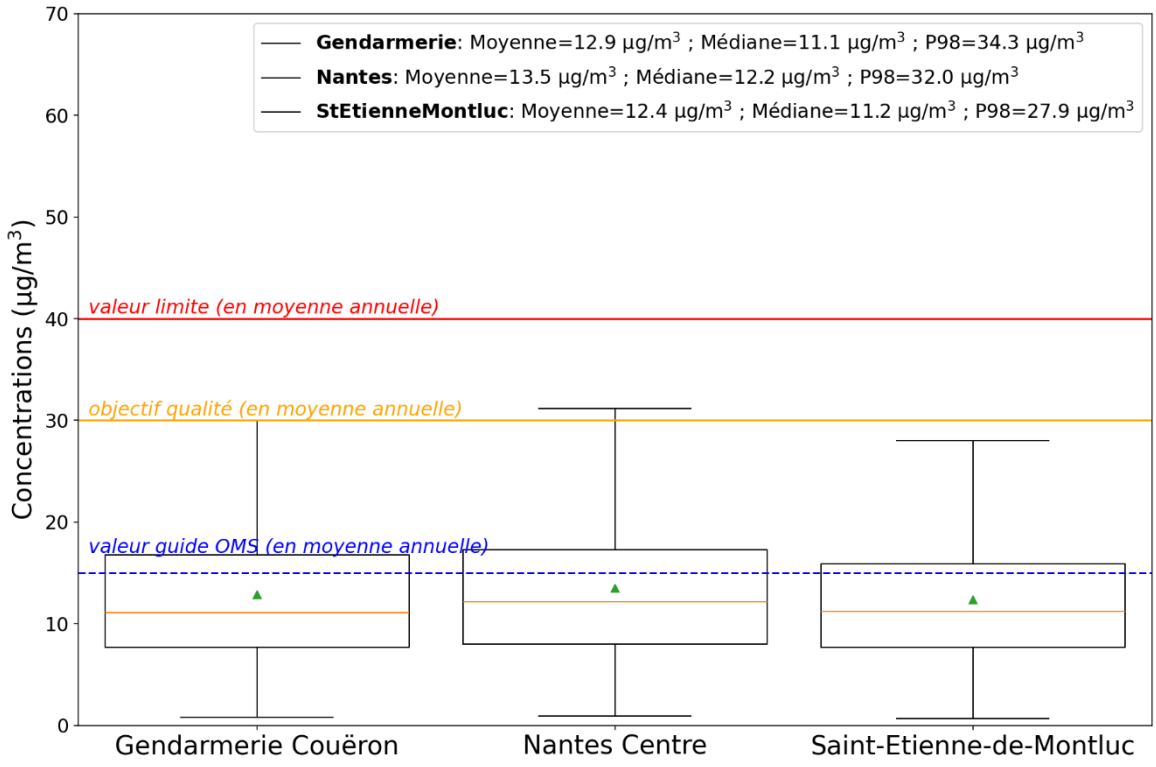


Figure 19 : boxplot des concentrations horaires en particules PM10 durant la campagne de l'hiver 2024, pour chaque site

Ces résultats montrent que :

- La concentration moyenne en PM10 sur le site de Couëron (12,9 µg/m^3) est proche de celles relevées en milieu urbain (13,5 µg/m^3 à Nantes), et en milieu rural (12,4 µg/m^3 à Saint-Etienne-de-Montluc).
- L'objectif de qualité, fixé à 30 µg/m^3, et la valeur limite fixée à 40 µg/m^3, ont une forte probabilité de ne pas être dépassés en moyenne annuelle par comparaison aux mesures permanentes qui n'ont pas dépassé ces valeurs en 2024 et les années précédentes.
- Compte tenu des niveaux proches entre Couëron et Nantes, un dépassement de la valeur guide de l'OMS fixée à 15 µg/m^3 en moyenne annuelle, n'est pas à exclure sachant que cette valeur a déjà été dépassée sur certaines stations de l'agglomération nantaise (Bouteillerie en 2022, Rezé et Bouguenais en 2023 et Rezé en 2024).

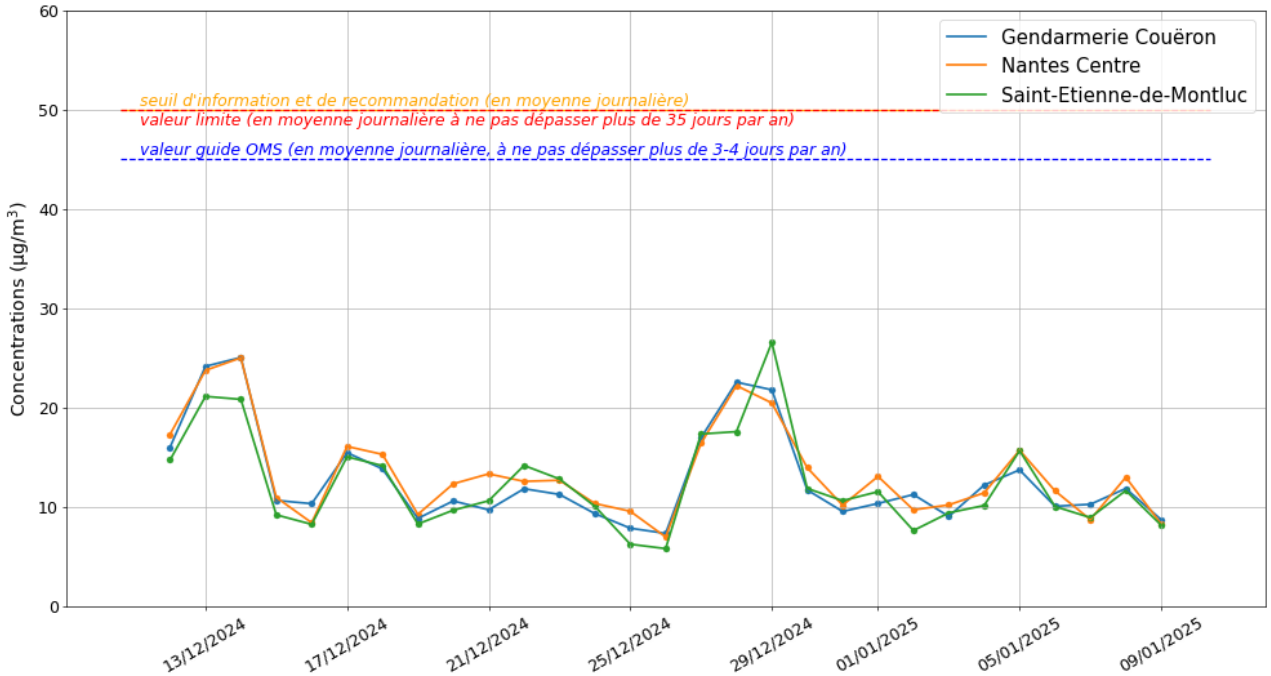


Figure 20 : évolution de la concentration journalière en particules PM10 pendant la campagne hivernale, pour chaque site

Ces résultats montrent que :

- Les concentrations en particules PM10 évoluent de manière corrélée sur les 3 sites, traduisant une influence régionale sur ce polluant.
- Les niveaux relevés sur le site de la gendarmerie sont de même ordre que ceux relevés sur le site de fond urbain de Nantes.
- Le seuil d'information et de recommandation n'a jamais été dépassé au cours de la campagne de mesure.
- Par comparaison aux stations permanentes, la valeur limite a de fortes probabilités d'être respectée sur le site de la gendarmerie de Couëron. En revanche, le risque de dépassement n'est pas à exclure pour la valeur guide de l'OMS (45 µg/m^3 à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an) compte tenu du dépassement de cette valeur sur certaines stations urbaines de Nantes les années passées.

La figure suivante présente la rose de pollution permettant de localiser les directions pour lesquelles les concentrations sont les plus élevées :

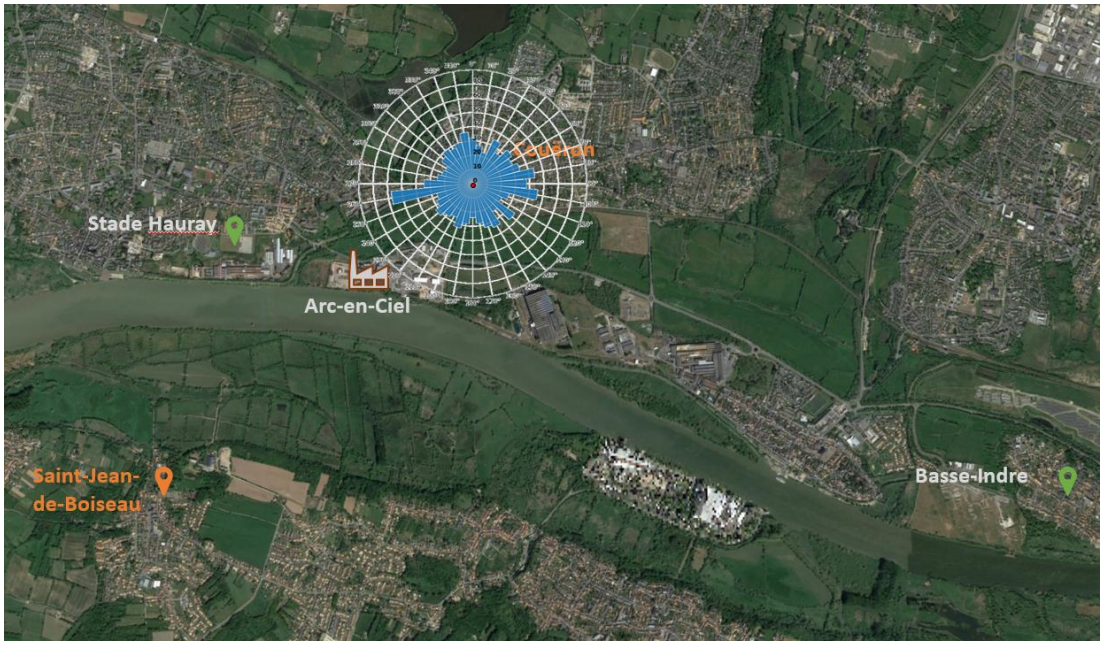


Figure 21 : rose de pollution des concentrations de pointe (P98) en PM10 mesurées sur le site de la Gendarmerie à Couëron

La rose de pollution au niveau du site de mesure de la Gendarmerie à Couëron montre des niveaux de PM10 plus élevés dans la direction 260°N, hors influence de l'UVE. La rose de pollution ne fait pas apparaître d'influence particulière dans les directions de l'UVE (210-240°N).

Dioxyde de soufre SO_2

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

- Une **valeur limite en moyenne journalière** fixée à 125 µg/m³, à ne pas dépasser plus de 3 jours par an.
- Une **valeur limite horaire fixée** à 350 µg/m³, à ne pas dépasser plus de 24h par an.
- 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 à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an.*

La figure ci-dessous présente sous forme d'un boxplot les statistiques de mesure du SO_2 au cours de la campagne :

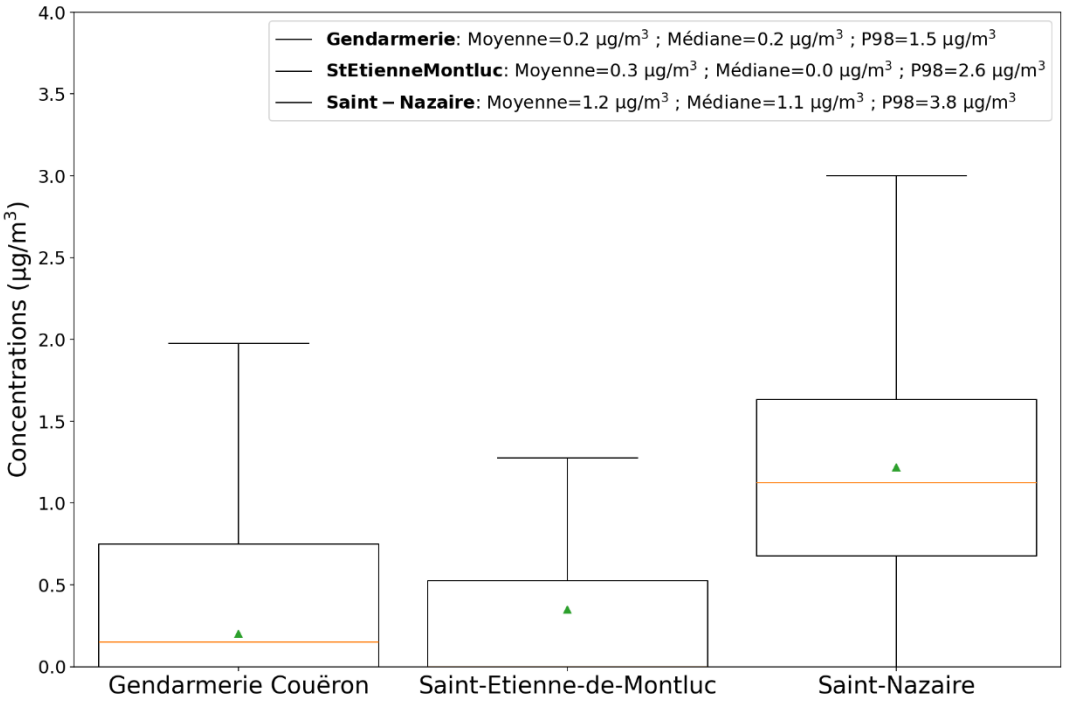


Figure 22 : boxplot des concentrations horaires en SO_2 sur les 3 sites de mesure, dont 2 non influencés par l'UVE

Les niveaux moyens relevés à Couëron (0,2 µg/m³) sont du même ordre de grandeur que ceux relevés à Saint-Etienne-de-Montluc (0,3 µg/m³), en environnement rural. Ces niveaux sont inférieurs à ceux relevés à Saint-Nazaire (1,2 µg/m³) mais restent, pour les trois sites, très faibles et proches de la limite de détection de l'appareil.

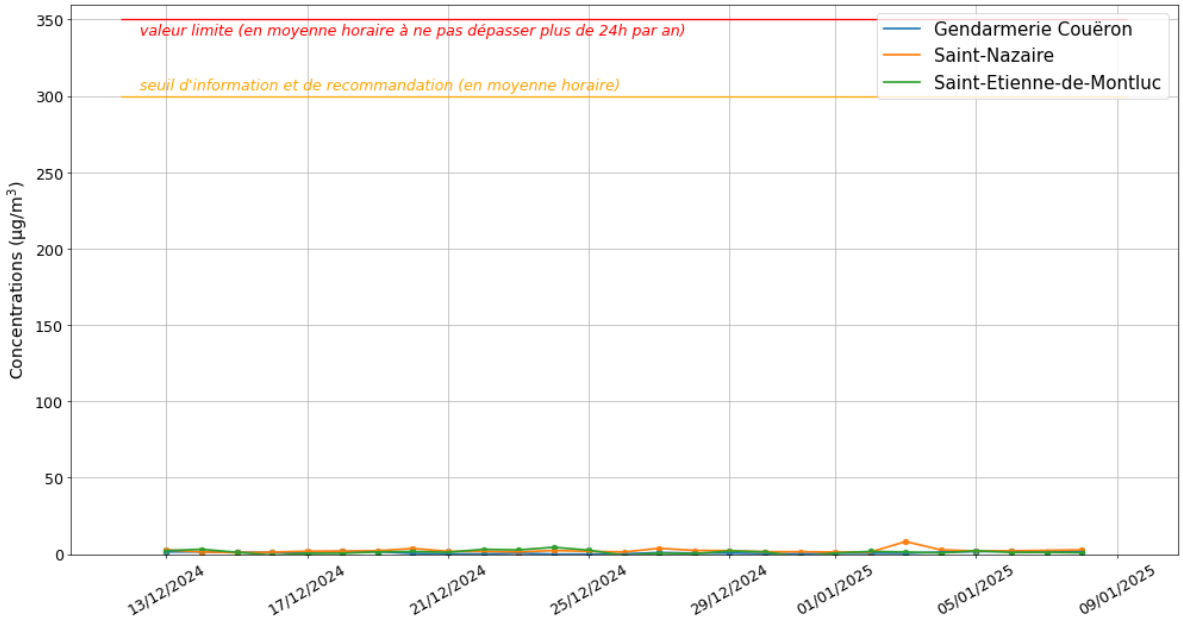


Figure 23 : évolution des concentrations maximum-horaires journalières en SO_2 sur les 3 sites de mesure, dont 2 non-influencés par l'UVE

Les concentrations maximum horaires sur l'ensemble des sites sont très inférieures à la valeur limite horaire de 350 µg/m^3 à ne pas dépasser plus de 24h par an, et au seuil d'information et de recommandation fixé à 300 µg/m^3 en moyenne horaire. En effet, le maximum horaire sur le site de la Gendarmerie de Couëron s'élève à 2 µg/m^3 sur l'ensemble de la campagne, tandis que ceux de Saint-Nazaire et de Saint-Etienne de Montluc sont respectivement de 8 et 4 µg/m^3.

La figure suivante présente la rose de pollution permettant de localiser les directions pour lesquelles les concentrations sont les plus élevées :

Figure 24 : rose de pollution des concentrations de pointe (P98) en SO_2 sur le site de la Gendarmerie à Couëron

La rose de pollution ne fait pas apparaître d'influence particulière dans les directions de l'UVE (210-240°N).

Monoxyde de carbone CO

Les concentrations en monoxyde de carbone sont exprimées en mg/m^3, et sont réglementées en moyenne glissante sur 8 heures selon :

- Une **valeur limite en moyenne 8-horaire** de 10 mg/m^3, soit 10 000 µg/m^3.
- *À titre d'information, l'OMS (2021) préconise une valeur guide de 4 mg/m^3 en moyenne journalière, à ne pas dépasser 3 à 4 jours par an, ainsi que 10* mg/m^3 en moyenne 8-horaire.

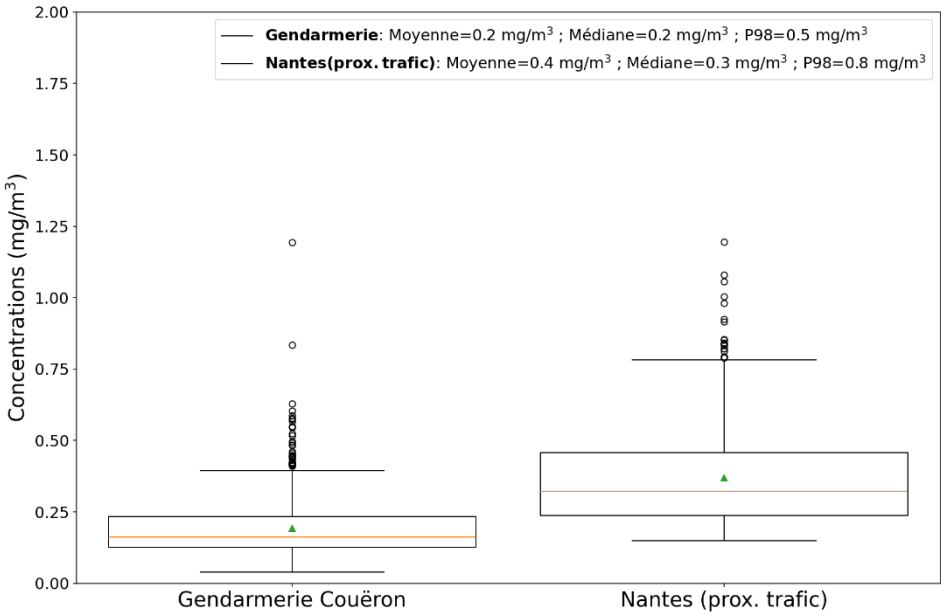


Figure 25 : boxplot des concentrations horaires en CO pendant la campagne hivernale de 2024-2025, sur le site de la Gendarmerie à Couëron et de proximité trafic de Nantes (station des Frères Goncourt)

Les niveaux de monoxyde de carbone relevés à la Gendarmerie de Couëron (0,2 mg/m^3 en moyenne) sont inférieurs à ceux relevés en proximité trafic à Nantes (0,4 mg/m^3 au Boulevard des Frères de Goncourt). De la même manière que les années précédentes, les mesures sont proches des limites de détection de l'appareil.

La figure suivante présente l'évolution des concentrations moyennes 8-horaires maximums journaliers sur le site de la gendarmerie de Couëron et de trafic routier de Nantes :

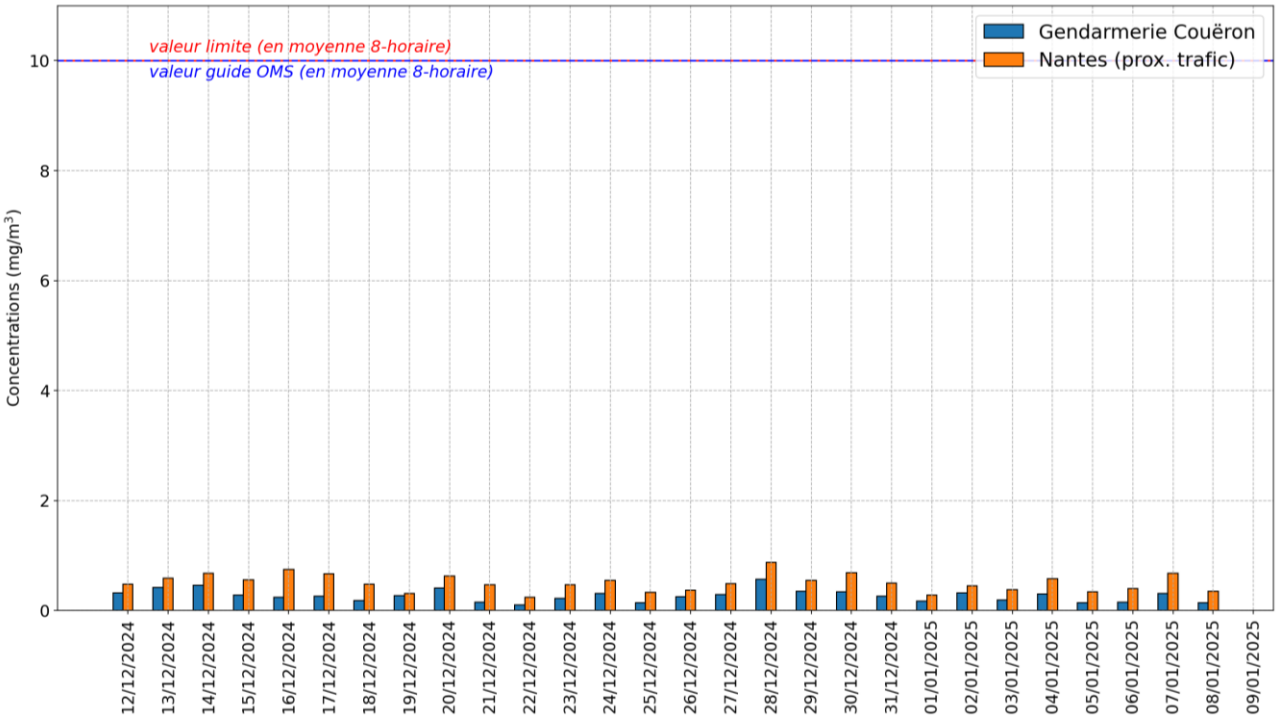


Figure 26 : évolution des concentrations maximales 8-horaires en CO, par jour, au cours de la campagne sur le site de la Gendarmerie à Couëron

Les valeurs limite et guide de l'OMS, toutes deux fixées à 10 mg/m^3, en moyenne 8-horaire, ont été respectées durant la campagne, sur les deux sites. En effet, le maximum 8-horaire a été mesuré le 28/12/2024 à 0,56 mg/m^3 sur le site de la gendarmerie, soit environ 18 fois moins que la valeur limite.

Ces mesures sont similaires à celles observées en 2021, 2022 et 2023 où des concentrations moyennes de respectivement 0,2 mg/m^3 et 0,3 mg/m^3 et 0,2 mg/m^3 avait été relevées à la Gendarmerie de Couëron.

Au vu des résultats similaires aux deux années précédentes, et étant donné que les concentrations maximales journalières restent très inférieures à la valeur limite, il est considéré comme probable que le seuil réglementaire de 10 mg/m^3 en moyenne sur 8 heures ne soit jamais dépassé sur le site de la Gendarmerie au cours d'une année.

La figure suivante présente la rose de pollution permettant de localiser les directions pour lesquelles les concentrations sont les plus élevées :

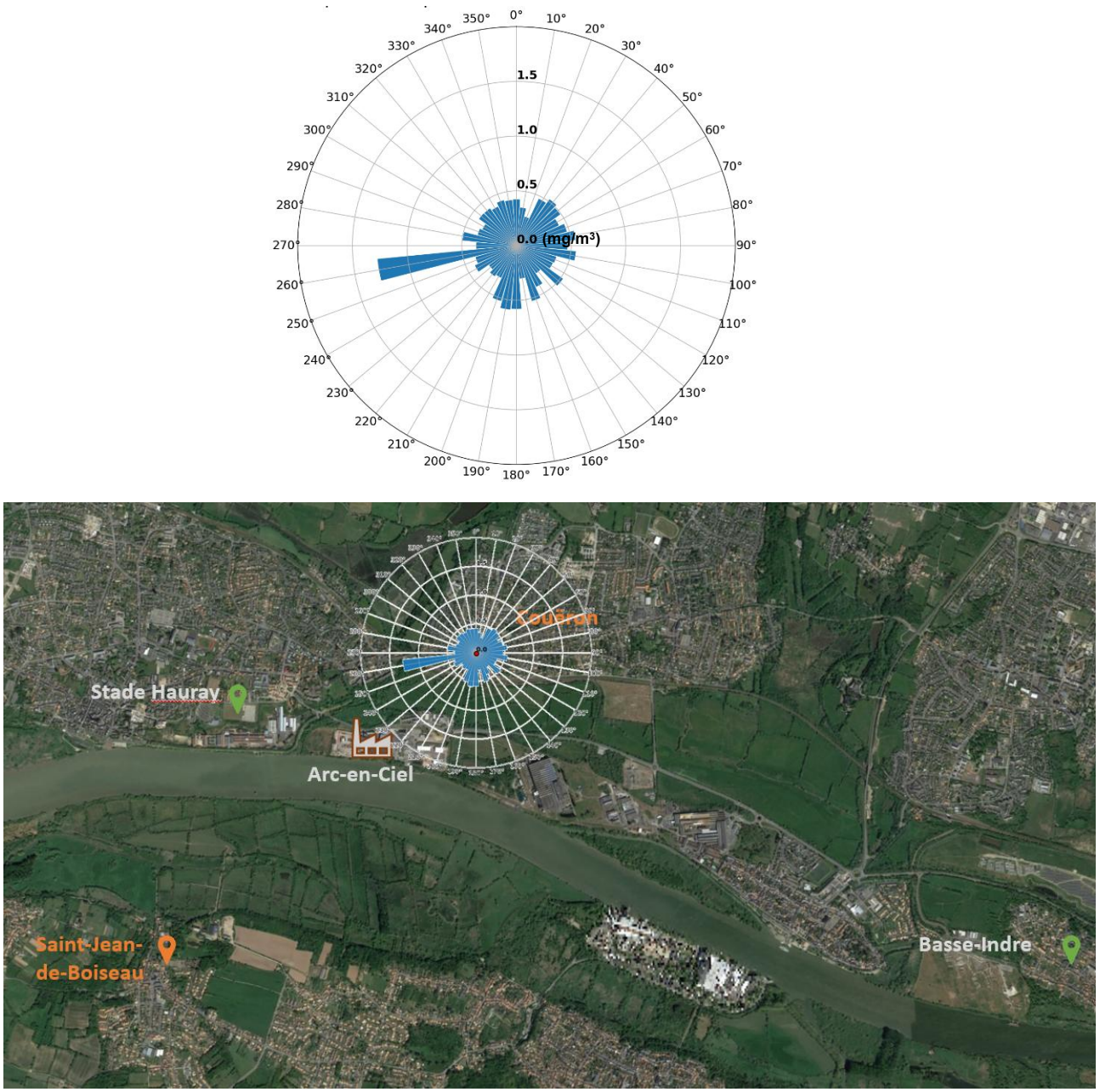


Figure 27 : rose de pollution des concentrations de pointe (P98) en CO sur le site de la Gendarmerie à Couëron

La rose de pollution montre des élévations des concentrations par vents de 260°N. Aucune influence des émissions d'Arc-en-Ciel 2034 (210-240°N) n'est mise en évidence.

Mercure gazeux Hg

L'analyseur de type LUMEX RA 915 AM a été installé dans le camion laboratoire sur le site de la Gendarmerie, pour déterminer les niveaux de mercure gazeux, durant les 4 semaines de prélèvement hivernal.
Le mercure fait l'objet de différentes valeurs de référence définies par plusieurs organismes (cf. tableau suivant).

Substance chimique	Voie d'exposition	Source	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision
Mercure élémentaire	Inhalation	US EPA	30	RfC: Reference concentration RfC=300 ng/m^3	1995
Mercure élémentaire	Inhalation (chronique)	ATSDR	30	MRL : Minimum Risk Level MRL = 200 ng/m^3	1999
Mercure inorganique	Inhalation (chronique)	OMS	20	VG : Valeur Guide $VG_{annuelle}$ = 1000 ng/m^3	2000
Mercure élémentaire	Inhalation	RIVM	30	TCA : Tolerable Concentration In air TCA = 200 ng/m^3	2001
Mercure élémentaire et inorganique	Inhalation (chronique)	OEHHA	300	REL : Refence Exposure Level REL = 30 ng/m^3	2008
Mercure élémentaire et inorganique	Inhalation aigüe	OEHHA	3000	REL : Refence Exposure Level REL = 600 ng/m^3	2008

Tableau 10 : valeur de référence pour l'inhalation (INERIS : point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) – Rapport d'étude 17/03/2009)

Pour le mercure élémentaire gazeux libre, la valeur toxicologique de référence (VTR) pour les effets à seuils actuellement considérée par l'INERIS parmi celles disponibles, est celle proposée par l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) en 2008 soit 30 ng/m^3 pour une exposition chronique par inhalation.

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats des mesures en mercure gazeux sur le site de la Gendarmerie à Couëron :

	Moyenne (ng/m^3)	Maximum-horaire (ng/m^3)	Maximum journalier (ng/m^3)
Gendarmerie, Couëron	0,54	0,86	0,62

Tableau 11 : résultats statistiques des mesures de mercure gazeux

Ces valeurs sont dans la lignée des concentrations relevées depuis 2021 et sont inférieures aux valeurs toxicologiques de référence, notamment la VTR de l'OEHHA (30 ng/m^3). La moyenne de 0,54 µg/m^3 est près de 55 fois plus faible que la VTR de l'OEHHA.

L'évolution de la concentration horaire maximale journalière est stable au cours de la campagne.

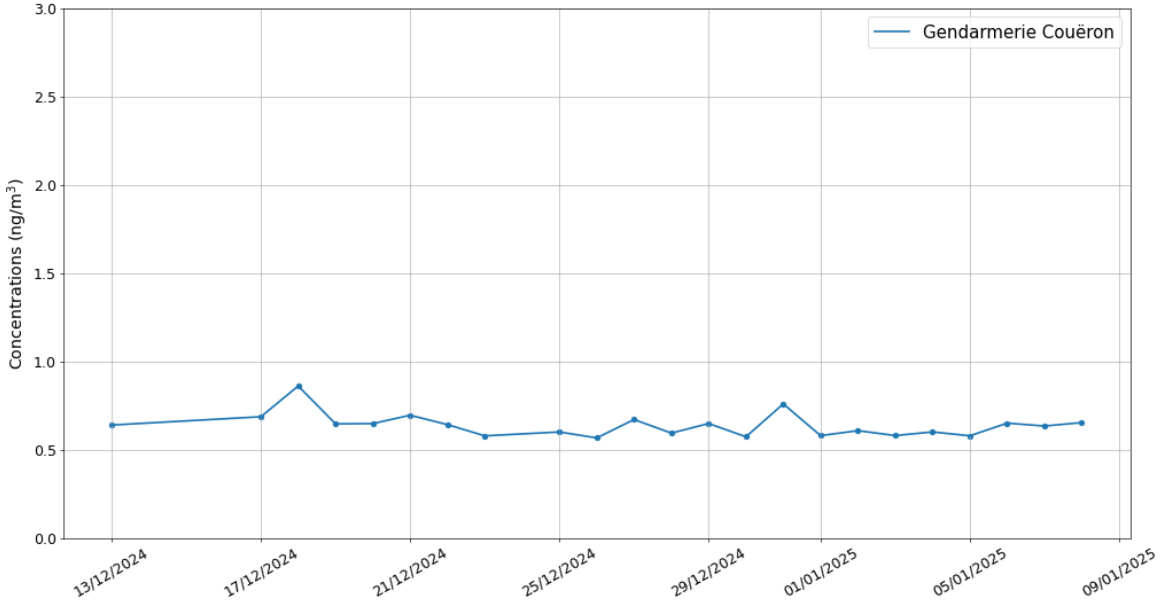
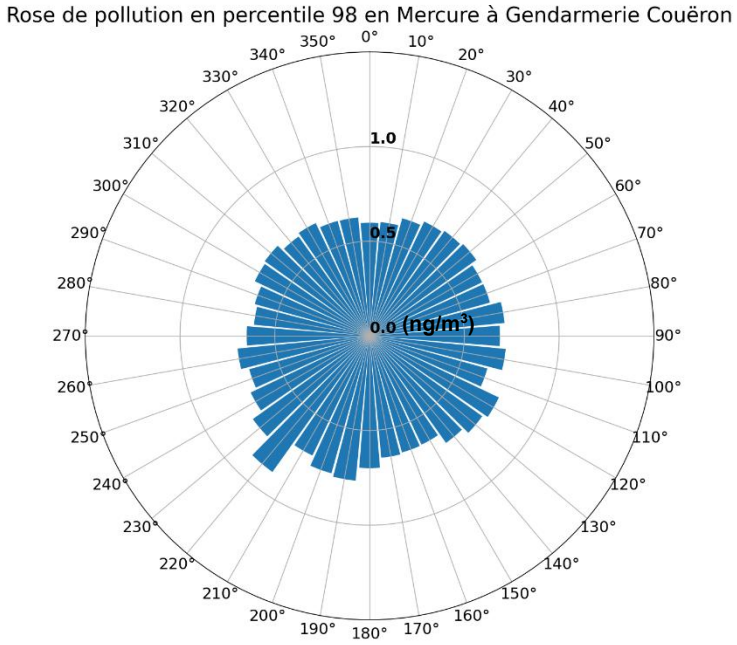


Figure 28 : évolution de la concentration du maximum-horaire journalier en mercure gazeux au cours de la campagne hivernale de 2024, sur le site de la Gendarmerie à Couëron

La rose de pollution du mercure est tracée dans la suite afin de caractériser les niveaux en fonction la direction des vents :



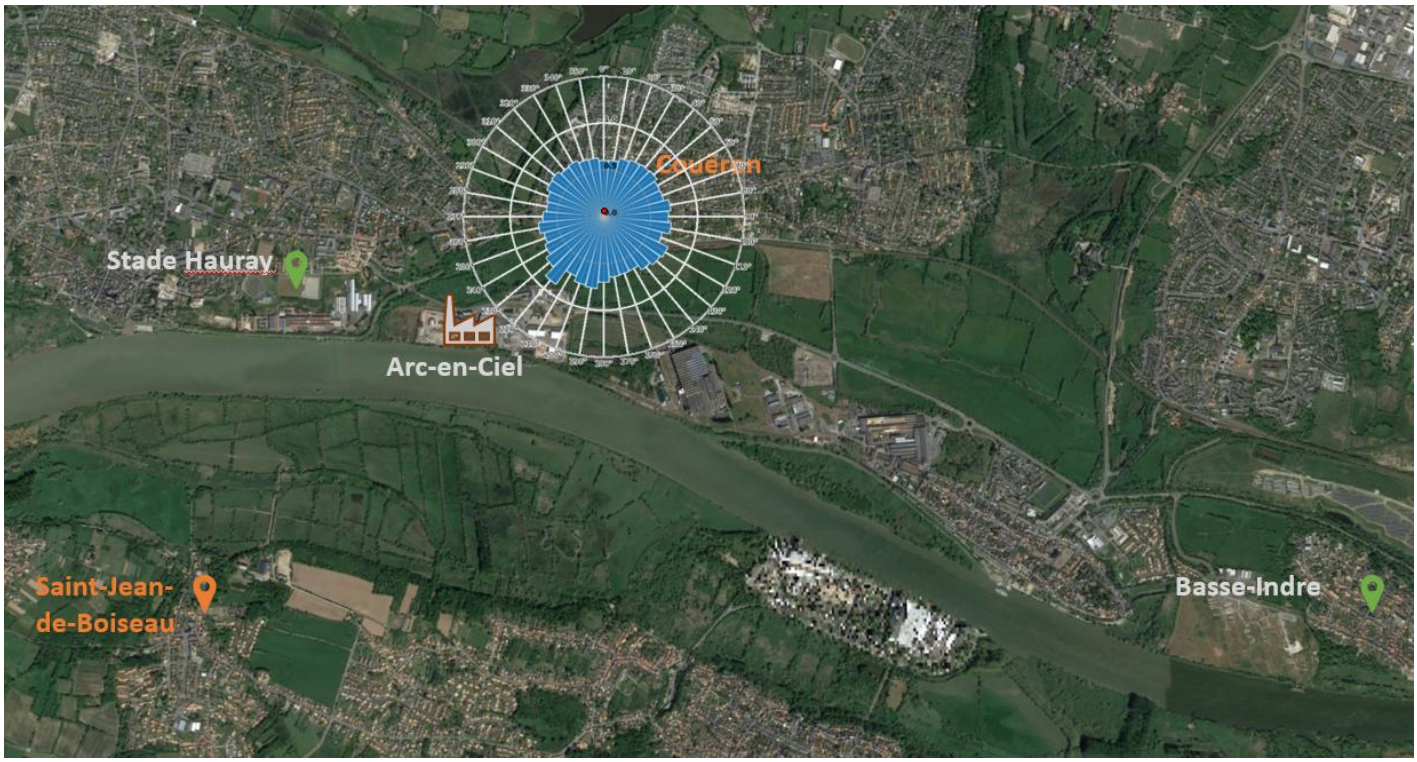


Figure 29 : rose de pollution des concentrations de pointe (P98) en mercure gazeux sur le site de la Gendarmerie à Couëron

La rose de pollution indique un P98 de 0,88 ng/m^3 dans la direction 220°N contre un P98 moyen de 0,67 ng/m^3 dans les autres directions. Ces niveaux de pointe ont une incidence limitée sur la moyenne des concentrations, avec une moyenne de 0,60 ng/m^3 dans la direction 220°N contre 0,54 ng/m^3 en moyenne dans les autres directions, soit des concentrations moyennes 11 % plus élevées.

Ces éléments suggèrent un impact de l'UVE sur les concentrations en mercure gazeux, bien que limité sur les niveaux moyens.

Conclusions

Depuis 1997, Air Pays de la Loire effectue une surveillance de la qualité de l'air dans l'environnement d'Arc-en-Ciel 2034. Cette surveillance, rendue obligatoire par les arrêtés préfectoraux du 2 juillet 1992 et du 14 avril 2003 et modifiés le 13 février 2018, consiste à réaliser des mesures des polluants atmosphériques dans l'air ambiant et les retombées atmosphériques.

Depuis 2009, ce dispositif a été complété par le suivi en continu du dioxyde d'azote, du dioxyde de soufre, du monoxyde de carbone, des particules PM10.

En 2020, le site de la Métairie a été remplacé par celui de la Gendarmerie, l'étude a été complétée d'un nouveau site témoin à Basse-Indre pour les dioxines et furanes, et la surveillance de nouveaux métaux lourds.

Les résultats de la campagne de mesure 2024, menée du 22 avril au 18 mai 2024, puis du 12 décembre 2024 au 9 janvier 2025, montrent des résultats cohérents avec ceux relevés les années précédentes. Ils permettent notamment d'évaluer la teneur des polluants mesurés dans l'environnement d'Arc-en-Ciel 2034 vis-à-vis de la réglementation.

Les niveaux enregistrés vis-à-vis de la réglementation en vigueur sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Comparaison aux valeurs règlementaires									
Valeur de référence	**NO_2**		**PM10**		**SO_2**		**CO**		
Exposition aigüe	**Période considérée : 12/12/24 – 09/01/25**								
Seuil d'information	200 µg/m³ en **moyenne horaire**	✓	50 µg/m³ en **moyenne journalière**	✓	300 µg/m³ en **moyenne horaire**	✓	-		
Valeur limite	200 µg/m³ en **moyenne horaire** *à ne pas dépasser plus de 18h par an*	✓	50 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 35 jours par an*	✓	125 µg/m³ en **moyenne horaire** *à ne pas dépasser plus de 3 jours par an*	✓	10 mg/m³ en **moyenne 8-horaire**	✓	
Valeur guide OMS	200 µg/m³ en **moyenne horaire**	✓	45 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an*	✓	40 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an*	✓	10 mg/m³ en **moyenne 8-horaire**	✓	
	25 µg/m³ en **moyenne journalière** *à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an*	−							
Exposition chronique									
Valeur limite	40 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	40 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	-		-		
Objectif qualité	-		30 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	50 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	-		
Valeur guide OMS	10 µg/m³ en **moyenne annuelle**	✓	15 µg/m³ en **moyenne annuelle**	−	-		-		

✓ *: respect constaté de la valeur de référence ;* ✓ *: respect probable de la valeur de référence ;* − *: possible dépassement de la valeur de référence ;* X *: dépassement constaté de la valeur de référence*

L'analyse de ces résultats permet par ailleurs d'évaluer l'influence d'Arc-en-Ciel 2034 sur ces polluants, et montre que :

- L'influence de l'établissement sur les dépôts de métaux lourds (arsenic, cadmium, cobalt, manganèse, nickel, plomb, mercure, antimoine et vanadium) dans son environnement n'est pas significative.
- Aucun lien de causalité n'a été établi entre les niveaux d'acide fluorhydrique, chlorhydrique et de métaux lourds dans l'air et les émissions de l'établissement.
- Les niveaux de dioxines et furanes ne sont pas influencés par les émissions de l'établissement.
- Aucune influence de l'établissement n'a été détectée dans les niveaux de dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, particules fines et monoxyde de carbone.
- **Une influence des émissions d'Arc-en-Ciel 2034 sur les concentrations mesurées à la Gendarmerie est probable pour le mercure gazeux**. La concentration moyenne relevée dans la direction 220°N est 11 % plus élevée que dans les autres directions. Cette observation avait également été faite en 2021, 2022 et 2023. Malgré cette influence probable, les niveaux de mercure restent 55 fois inférieures à la VTR de l'OEHHA en exposition chronique.

Les mesures se poursuivent en 2025. **Compte tenu des niveaux d'acide fluorhydrique (HF) inférieurs aux limites de détection sur l'ensemble des sites de prélèvement depuis 5 ans, début des mesures, ce polluant sera retiré du dispositif à compter de la campagne de 2025.**

Annexes

- Annexe 1 : dispositif de mesure par site
- Annexe 2 : techniques d'évaluation
- Annexe 3 : roses de vent hebdomadaires
- Annexe 4 : roses de pollution
- Annexe 5 : Air Pays de la Loire
- Annexe 6 : types des sites de mesure
- Annexe 7 : polluants
- Annexe 8 : laboratoires d’analyse
- Annexe 9 : tests statistiques (ANOVA)
- Annexe 10 : seuils de la qualité de l’air en 2024

Annexe 1 : dispositif de mesure par site

Matériel	Sites de mesure	Polluants mesurés
	Gendarmerie de Couëron	Camion laboratoire : mesures en hiver 2024 • PM10 • SO_2 • NO_2 • CO • Hg gazeux
	Gendarmerie de Couëron Hauray Saint-Jean-de-Boiseau	Tubes passifs : • Acide fluorhydrique
	Gendarmerie de Couëron	• Retombées de dioxines et furanes • Retombées de métaux
	Hauray	• Retombées de dioxines et furanes • Retombées de métaux
	Saint-Jean-de-Boiseau	• Retombées de dioxines et furanes • Retombées de métaux
	Basse-Indre	• Retombées de dioxines et furanes
	Gendarmerie de Couëron Hauray Saint-Jean-de-Boiseau	Collecteur atmosphérique : • Concentrations de métaux lourds • Concentrations d'acide chlorhydrique

Annexe 2 : techniques d'évaluation

Mesures des dépôts de dioxines et furanes

Méthode

Collecte des précipitations atmosphériques (selon la norme **NF X43-014**) dans des flacons en verre préalablement nettoyés en laboratoire, abrités de la lumière par du papier d'aluminium et surmontés d'entonnoir en verre (surface de collecte de 3,14 dm^2). L'ensemble flacon et entonnoir est protégé dans un tube en inox fixé au sol.

Collecteur installé sur site

Mise en œuvre

En début de campagne, installation sur le site d'un système de collecte et retrait en fin de campagne.

Analyses et normes d'analyse

Détermination des 17 dioxines et furanes toxiques dans les retombées totales par le laboratoire µpolluants Technologie SA (accrédité COFRAC 1-1151 section « Mesures dans les retombées atmosphériques, détermination de la concentration massique en PCDD et PCDF »).

Les échantillons sont tout d'abord filtrés à travers un tamis de 1 mm d'ouverture de maille. L'extraction de l'échantillon d'eau consiste en une extraction liquide-liquide avec du dichlorométhane. Les particules sont séchées puis marquées avant extraction solide-liquide au toluène. Les extraits obtenus sont combinés, puis purifiés sur colonnes chromatographiques contenant des adsorbants spécifiques.

L'extrait est concentré et des standards internes sont ajoutés. L'extrait est analysé par HRGC/HRMS à haute résolution (R=10 000). La filtration et le tamisage se réfère à la norme **NF X43-014**.

La mesure de ces retombées atmosphériques est exprimée en pg I-TEQ /m^2/jour.

Prise en compte d'éventuelles contaminations

Un collecteur témoin nettoyé dans les mêmes conditions que celles utilisées pour les collecteurs de terrain a été analysé selon le même protocole que les échantillons. Si les concentrations obtenues pour les 17 congénères toxiques étaient supérieures à la limite de détection analytique alors elles étaient soustraites aux concentrations mesurées lorsque celles-ci étaient supérieures à la limite de quantification.

Par ailleurs, si un congénère n'est pas présent en quantité dépassant la limite de détection, la valeur de cette limite est retenue dans le calcul de la toxicité équivalent totale.

Mesures de dépôts de métaux lourds

Méthode

Collecte des précipitations atmosphériques (norme **NF X43-014**) dans des jauges Owen (surface d'exposition de 6,6 dm^2).

Vue d'une jauge Owen

Mise en œuvre

Installation d'une jauge Owen sur chaque site en début de campagne et retrait en fin de campagne.

Analyse des eaux de pluie par le laboratoire IANESCO

Détermination de la masse en chlorure et sodium selon les normes **NF ISO 15923-1**, de la masse en métaux lourds selon la norme **NF EN ISO 17294-2**. La mesure de ces retombées atmosphériques est exprimée en mg/m^2/jour pour les chlorures, le sodium et en $\mu g/m^2$/jour pour les métaux lourds.

Limites de quantification :

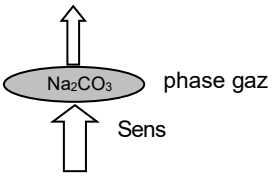
Mercure (Hg) : 0,015 µg/L
Arsenic (As) : 0,1 µg/L
Cadmium (Cd) : 0,1 µg/L
Plomb (Pb) : 0,1 µg/L
Nickel (Ni) : 0,1 µg/L
Manganèse (Mn) : 0,1 µg/L
Cobalt (Co) : 0,1 µg/L
Antimoine(Sb) : 0,1 µg/L
Vanadium(V) : 0,1 µg/L

Mesures des concentrations atmosphériques en acide chlorhydrique gazeux

Vue du préleveur d'acide chlorhydrique gazeux

Principe de collecte

Collecte de la phase aérosol sur filtre en fibre de quartz issue du prélèvement de la phase gazeuse (HCl) sur filtre en fibre de quartz imprégné de NO_2CO_3 (5 %).



Pas de temps

Prélèvement hebdomadaire.

Analyse des filtres

Par chromatographie ionique (norme **NF ISO 10304-2**). La limite de quantification (plus petite quantité mesurée et quantifiée) par les chlorures est de 6 µg/filtre soit pour un prélèvement hebdomadaire à 2.3 m^3/h de 0,02 µg/m^3.

Analyse des filtres

Chaque semaine, Air Pays de la Loire a adressé au Laboratoire IANESCO pour analyse deux filtres témoins (filtres aérosol et filtre gaz).

Les concentrations en acide chlorhydrique des filtres témoins sont déduites des concentrations calculées pour les échantillons réels.

Mesures des concentrations atmosphériques de métaux

Vue d'un système de prélèvement par filtre

Méthode

Collecte des particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm (PM10) sur des filtres en fibre de quartz avec un débit de 2,3 m^3/h.

Pas de temps

Prélèvement hebdomadaire.

Mise en œuvre

Au début de chaque période d'une semaine, installation sur le site d'un Leckel (cf, photo ci-dessus).

Analyse de chaque filtre par le laboratoire IANESCO - normes d'analyses

Détermination de la masse en métaux lourds selon la norme **NF EN 14902** pour As, Cd, Ni et Pb, selon la norme **NF EN ISO 11-885** pour Mn.

Les niveaux moyens hebdomadaires en métaux lourds (en ng/m^3) sont ensuite obtenus à partir du volume d'air prélevé par les pompes.

Les limites de quantification (plus petite quantité mesurée et quantifiée) de chacun des 9 métaux lourds sont données dans le tableau suivant en µg/filtre et dans les conditions de prélèvement décrites ci-dessus, en ng/m^3 :

	LQ filtre (µg/filtre)	LQ air (ng/m^3)
As	0,005	0,013
Cd	0,005	0,013
Co	0,05	0,13
Cu	0,005	0,013
Mn	0,05	0,13
Ni	0,005	0,013
Pb	0,05	0,13
Sb	0,05	0,13
V	0,05	0,13

Limites de quantification

Prise en compte des éventuelles contaminations

Chaque semaine, Air Pays de la Loire a également adressé au laboratoire Ianesco, un filtre témoin servant à quantifier les contaminations éventuelles des filtres ou lors des opérations de fabrication, de conditionnement et d'analyse.

Aux concentrations fournies par le laboratoire, est soustraite la valeur moyenne des filtres témoins pour chaque composé.

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 particules PM10

Méthode – normes

Les mesures de poussières fines sont effectuées à l’aide du système TEOM-FDMS, 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 1er 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 mercure gazeux Hg

Méthode – normes

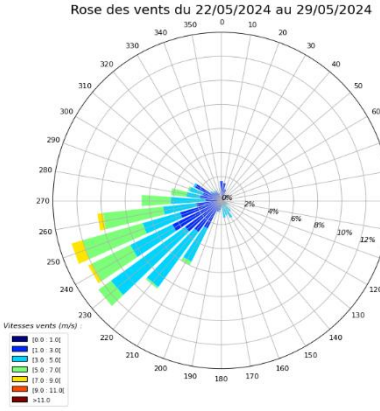
Les mesures de mercure gazeux sont effectuées à l’aide d’un analyseur Lumex RA-915 AM. La technique de mesure repose sur une mesure optique selon le principe d’absorption atomique à effet Zeeman – norme **NF EN 15852**.

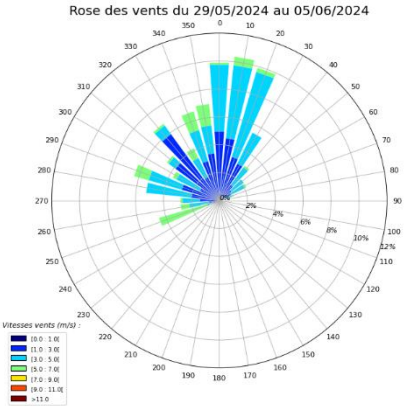
Pas de temps

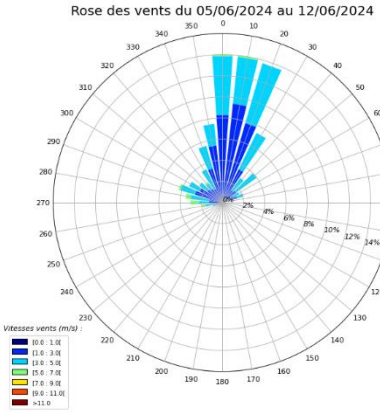
Tous les quarts d’heure.

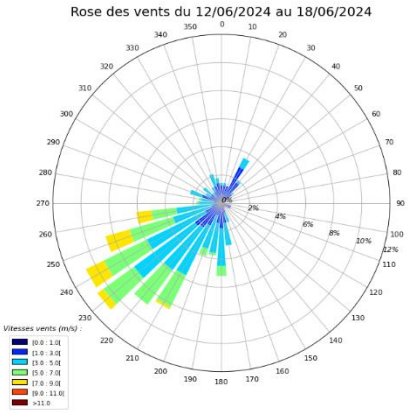
Annexe 3 : roses des vents hebdomadaires

Ci-dessous sont présentées les roses des vents hebdomadaires pour la campagne printanière.

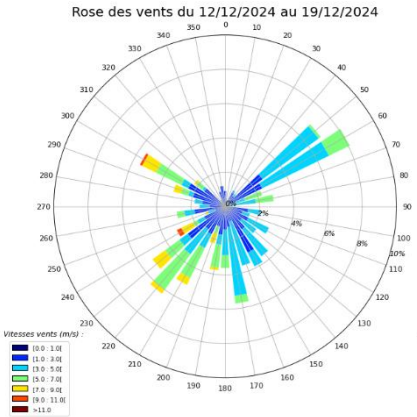


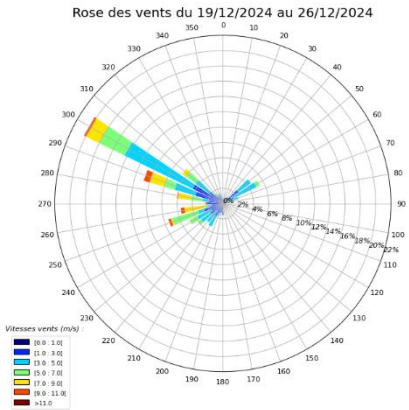


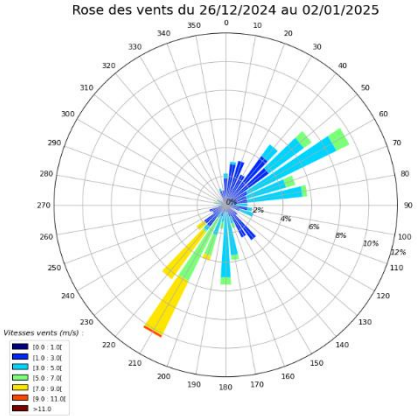


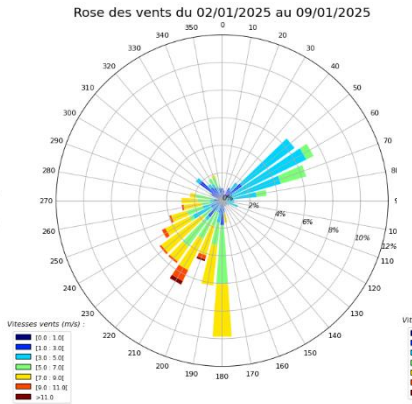


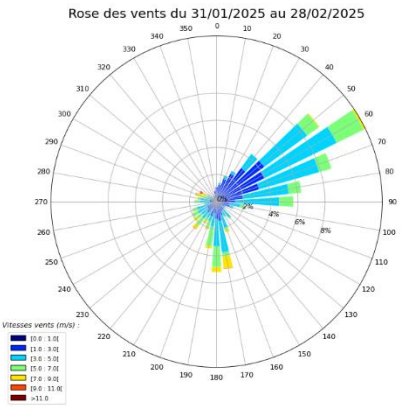
Ci-dessous sont représentées les roses de vent hebdomadaire pour la campagne hivernale.







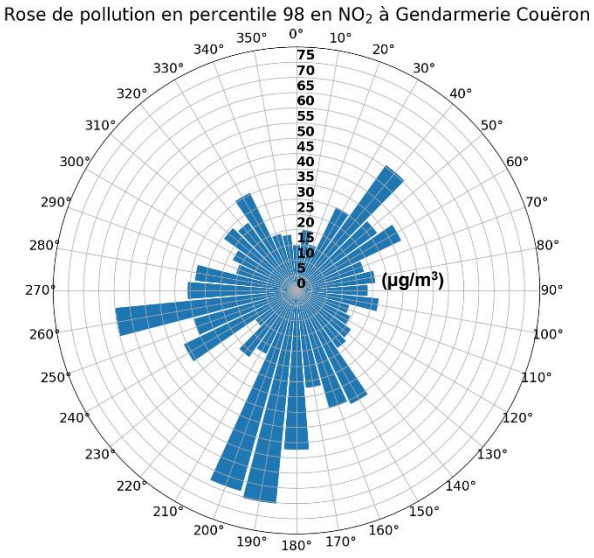


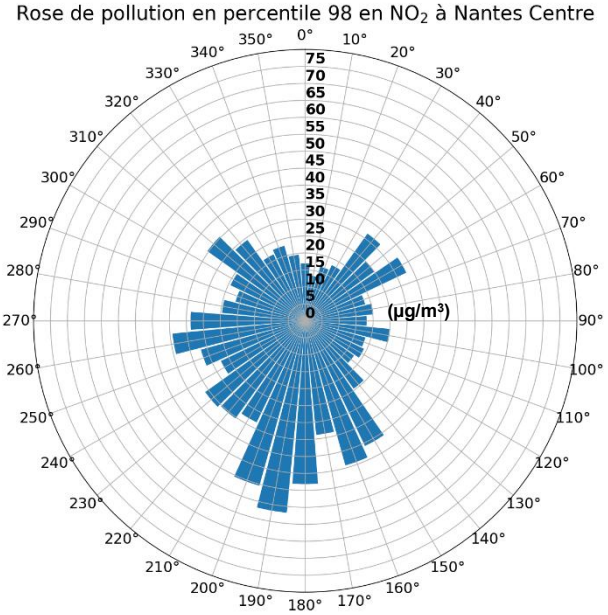


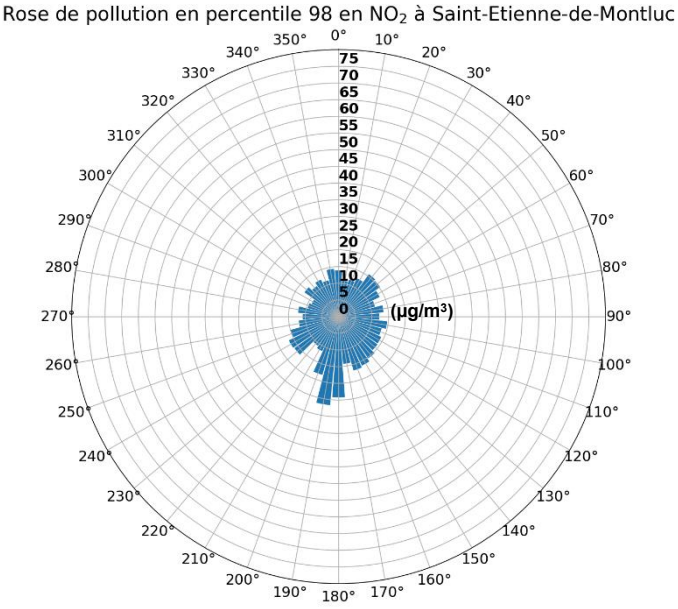
Annexe 4 : roses de pollution

Ci-dessous sont représentées les roses de pollution de niveaux de pointe (P-98) des polluants mesurés sur le site de la Gendarmerie de Couëron (influencé par l'UVE), en comparaison avec d'autres sites de mesure non influencés.

Roses de pollution en NO_2

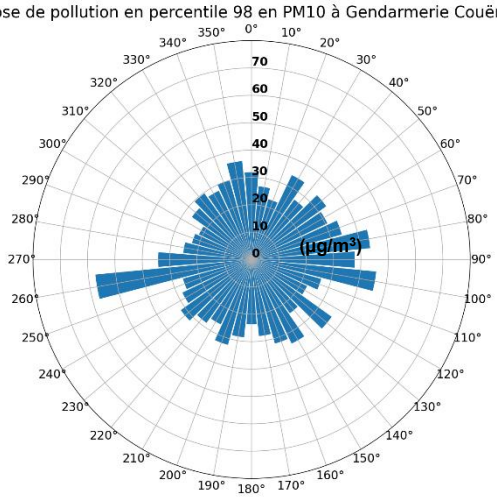




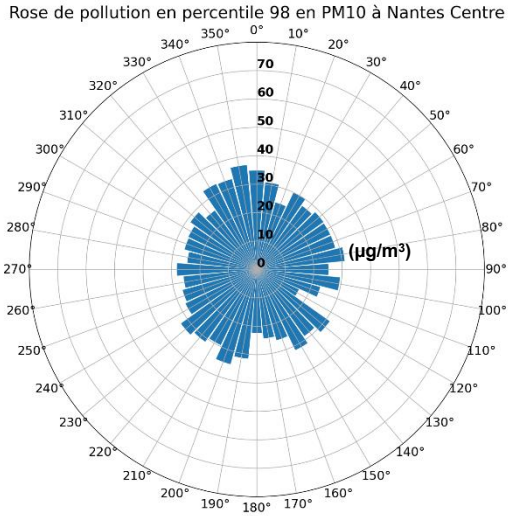


Roses de pollution en PM10

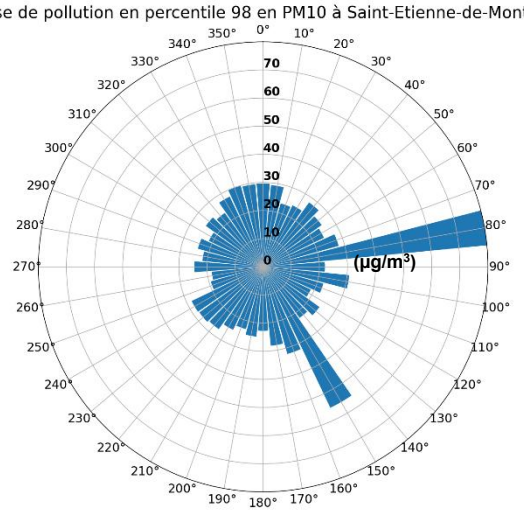
Rose de pollution en percentile 98 en PM10 à Gendarmerie Couëron



Rose de pollution en percentile 98 en PM10 à Nantes Centre

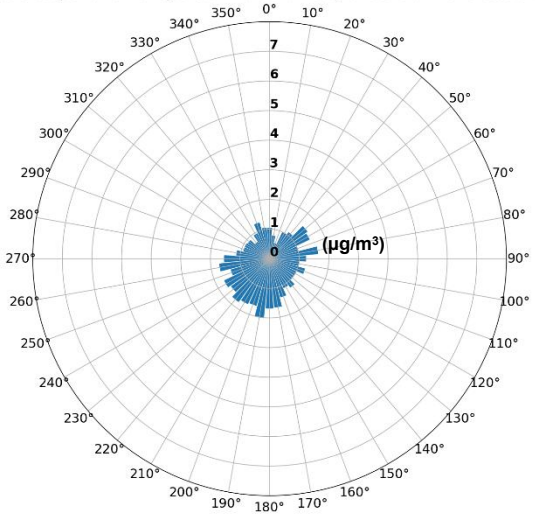


Rose de pollution en percentile 98 en PM10 à Saint-Etienne-de-Montluc

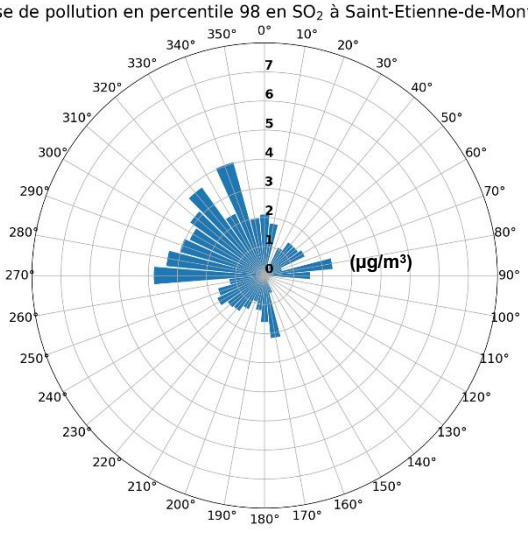


Roses de pollution en SO_2

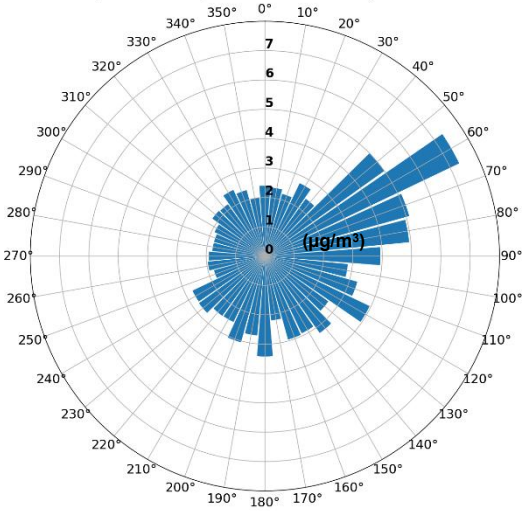
Rose de pollution en percentile 98 en SO_2 à Gendarmerie Couëron



Rose de pollution en percentile 98 en SO_2 à Saint-Etienne-de-Montluc

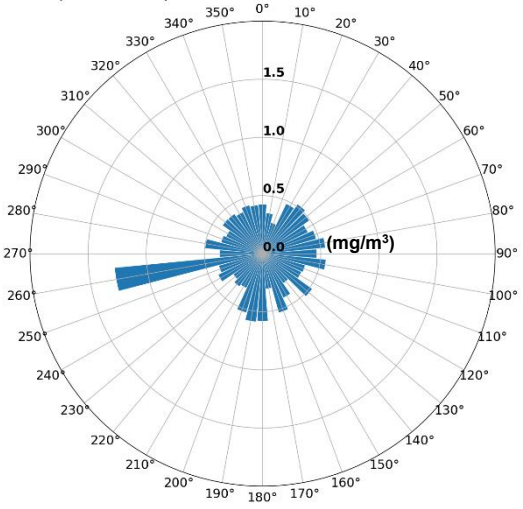


Rose de pollution en percentile 98 en SO_2 à Saint-Nazaire

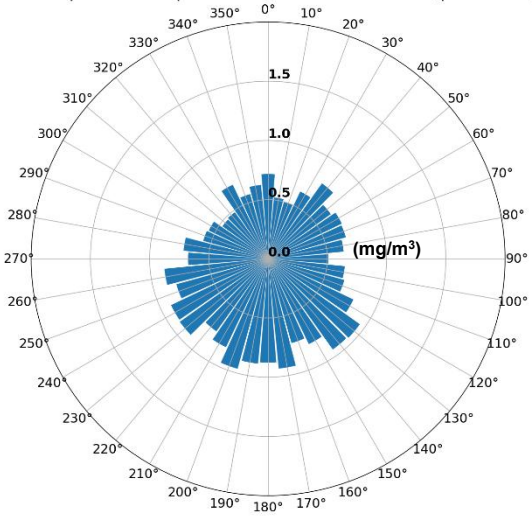


Rose de pollution en CO

Rose de pollution en percentile 98 en CO à Gendarmerie Couëron

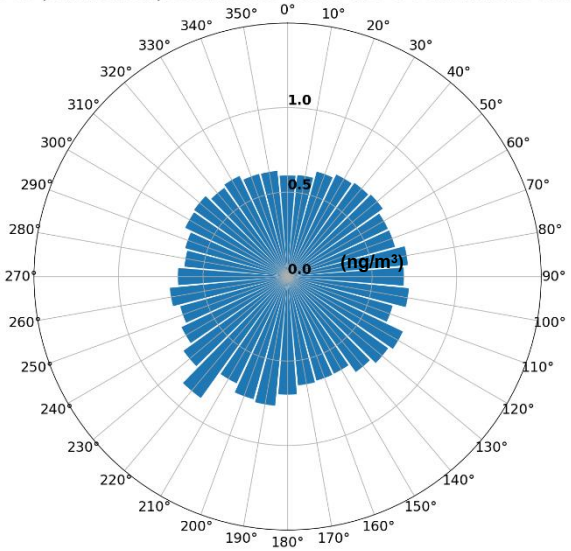


Rose de pollution en percentile 98 en CO à Nantes (prox. trafic)



Rose de pollution en Hg gazeux

Rose de pollution en percentile 98 en Mercure à Gendarmerie Couëron



Annexe 5 : Air Pays de la Loire

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé par le Ministère chargé 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.

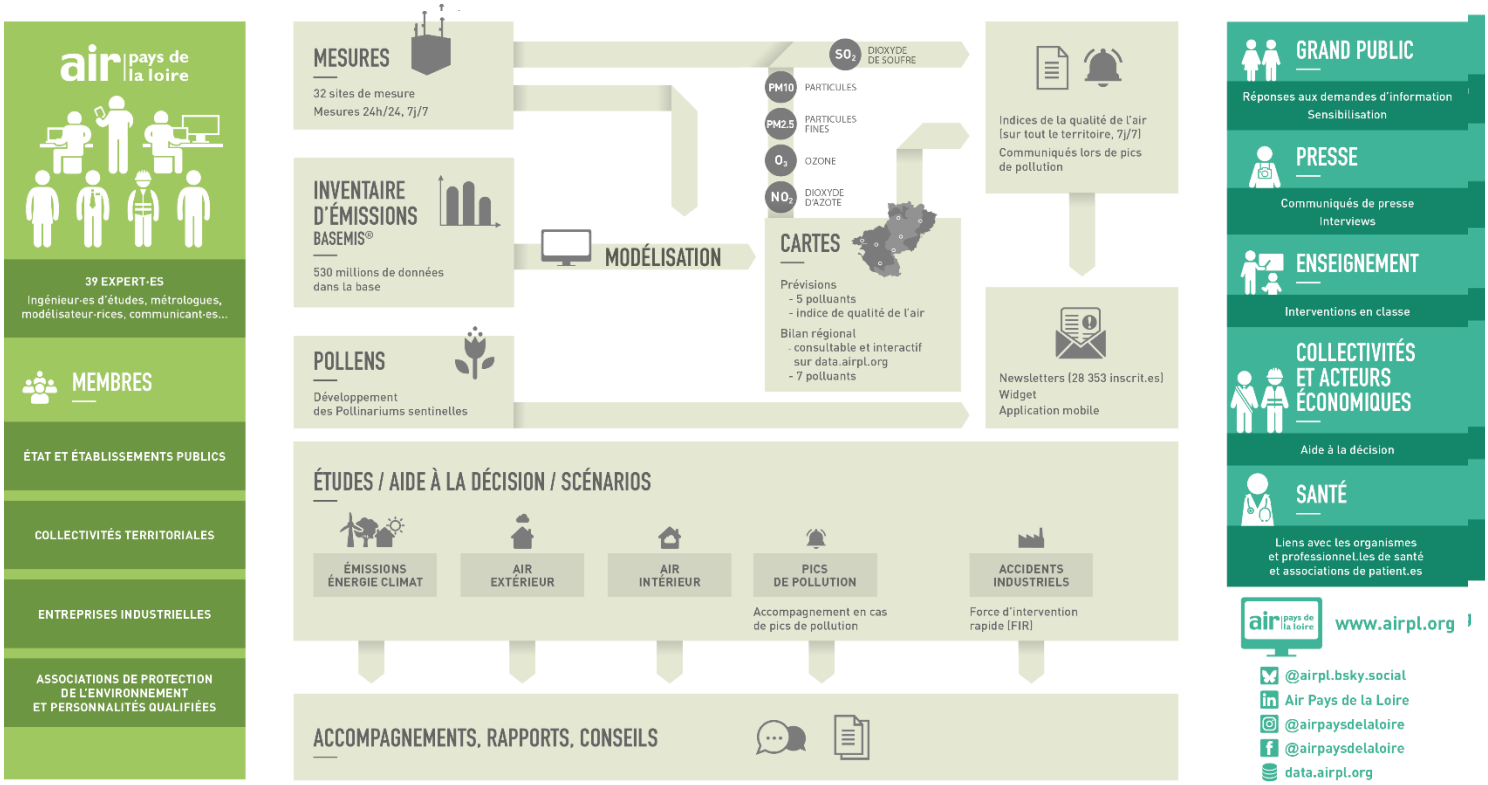
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- 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 Bluesky (@airpl.bsky.social) 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-partenariale, 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 6 : 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 7 : polluants

Les oxydes d'azote (NOx)

Les NOx comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). 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

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 cardiovasculaire 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 (CO_2). 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.

Le dioxyde de soufre (SO_2)

C'est le principal composant de la pollution « acide ». Malgré une diminution de 60 % en France entre 1980 et 1990, du essentiellement à la réduction de la production électrique par les centrales thermiques, le SO_2 provient à plus de 80 % de l'utilisation des combustibles contenant du soufre (fuel et charbon).

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire. Les fortes pointes de pollution peuvent déclencher une gêne respiratoire chez les personnes sensibles (asthmatiques, jeunes enfants…). Les efforts physiques intenses accroissent les effets du dioxyde de soufre. Aux concentrations habituellement observées dans l'environnement, une très grande proportion du dioxyde de soufre inhalé est arrêtée par les sécrétions muqueuses du nez et des voies respiratoires supérieures. Le dioxyde de soufre qui atteint le poumon profond, passe dans la circulation sanguine puis est éliminé par voie urinaire. Des études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des taux de dioxyde de soufre s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardiovasculaire.

Les métaux lourds

Ils englobent l'ensemble des métaux présentant des caractères toxiques pour la santé et l'environnement. Ils proviennent essentiellement de la combustion du charbon, du pétrole ou des ordures ménagères ainsi que de procédés industriels (fonderies, usinage, …). Parmi ces métaux, on peut citer, le plomb, l'arsenic, le cadmium, le nickel. Dans l'air, ils se retrouvent le plus souvent au niveau des particules. Le mercure est présent plutôt à l'état gazeux.

L’acide chlorhydrique (HCl)

Ce polluant participe à la formation des retombées acides. Il provient surtout de l’incinération des ordures ménagères et, notamment, des plastiques comme le PVC (polychlorovinyle).

Le mercure gazeux (Hg)

Le mercure gazeux est principalement émis par les activités humaines, notamment par le secteur industriel et la production d’énergie. Le mercure représente un risque sur la santé humaine en étant absorbé par voie pulmonaire, puis accumulé au niveau des reins, du foie et du cerveau, pouvant engendrer des irritations respiratoires et des troubles neurologiques graves.

Les dioxines et furanes

Les sources principales en sont la combustion (incinération des ordures ménagères en particulier) et la sidérurgie. Contrairement aux autres polluants, l’exposition de l’homme passe très peu par l’air : les dioxines et les furanes s’accumulent le long des chaînes alimentaires (poisson, viande, lait, …) et l’ingestion d’aliments est responsable à 90 % de la contamination humaine.

Annexe 8 : laboratoires d’analyse

analyse des concentrations atmosphériques en métaux et HCl et analyse des métaux dans les retombées totales

IANESCO
6, rue Carol Heitz
BP 90974
86038 POITIERS CEDEX
Accrédité par le COFRAC au titre de la norme NF EN ISO/CEI 17025 : 2005.

analyse des dioxines et furanes dans les retombées totales

Micropolluants Technologies SA
4, rue de Bort-les-Orgues
ZAC de Grimont
BP 40010
57070 SAINT-JULIEN-LES-METZ
Accrédité par le COFRAC au titre de la norme NF EN ISO/CEI 17025 : 2005 et par le ministère du développement durable pour la mesure des concentrations en dioxines et furanes.

analyse des tubes d’acide fluorhydrique

TERA
628 rue Charles de Gaulle
38920 CROLLES

Annexe 9 : tests statistiques (ANOVA)

Concentrations atmosphériques en métaux (µg/m^3)

Phase printanière :

Arsenic	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,093	0,098	0,109	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,132	0,134	0,145	
S3	0,133	0,094	0,100	
S4	0,096	0,085	0,102	
Moyenne	**0,11**	**0,10**	**0,11**	
Ecart-type	**0,02**	**0,02**	**0,02**	
Etendue	**0,04**	**0,05**	**0,05**	
ICinf	**0,08**	**0,07**	**0,08**	
ICsup	**0,14**	**0,14**	**0,15**	

Cadmium	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,009	0,008	0,007	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,026	0,027	0,029	
S3	0,019	0,016	0,017	
S4	< LQ	< LQ	< LQ	
Moyenne	**0,02**	**0,02**	**0,02**	
Ecart-type	**0,01**	**0,01**	**0,01**	
Etendue	**0,02**	**0,02**	**0,02**	
ICinf	**0,01**	**0,00**	**0,00**	
ICsup	**0,03**	**0,03**	**0,03**	

Nickel	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,229	0,184	0,206	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,350	0,274	0,229	
S3	0,352	0,159	0,162	
S4	0,252	0,292	0,239	
Moyenne	**0,30**	**0,23**	**0,21**	
Ecart-type	**0,06**	**0,07**	**0,03**	
Etendue	**0,12**	**0,13**	**0,08**	
ICinf	**0,21**	**0,13**	**0,15**	
ICsup	**0,38**	**0,32**	**0,26**	

Chrome	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,232	0,117	0,158	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,583	0,312	0,194	
S3	0,401	0,181	0,194	
S4	0,198	0,243	0,137	
Moyenne	**0,35**	**0,21**	**0,17**	
Ecart-type	**0,18**	**0,08**	**0,03**	
Etendue	**0,39**	**0,19**	**0,06**	
ICinf	**0,08**	**0,07**	**0,13**	
ICsup	**0,63**	**0,35**	**0,21**	

Cuivre	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	1,409	0,811	0,915	L'analyse de la variance fait ressortir une différence significative du site de la Gendarmerie par rapport aux deux autres sites
S2	1,783	1,382	0,931	
S3	1,999	1,286	0,911	
S4	1,411	0,479	0,698	
Moyenne	**1,65**	**0,99**	**0,86**	
Ecart-type	**0,29**	**0,42**	**0,11**	
Etendue	**0,59**	**0,90**	**0,23**	
ICinf	**1,23**	**0,35**	**0,70**	
ICsup	**2,07**	**1,63**	**1,03**	

Manganèse	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	1,145	0,984	0,861	
S2	2,139	1,545	1,477	
S3	3,378	1,835	1,669	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S4	1,353	0,776	1,187	
Moyenne	**2,00**	**1,28**	**1,30**	
Ecart-type	**1,01**	**0,49**	**0,35**	
Etendue	**2,23**	**1,06**	**0,81**	
ICinf	**0,42**	**0,53**	**0,72**	
ICsup	**3,59**	**2,04**	**1,87**	

Cobalt	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	< LQ	< LQ	< LQ	
S2	< LQ	< LQ	< LQ	
S3	< LQ	< LQ	< LQ	
S4	< LQ	< LQ	< LQ	
Moyenne	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**Pas de données**
Ecart-type	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	
Etendue	**-**	**-**	**-**	
ICinf	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	
ICsup	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	

Vanadium	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,219	0,207	0,211	
S2	0,415	0,376	0,376	
S3	0,427	0,336	0,323	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S4	0,106	0,076	0,122	
Moyenne	**0,29**	**0,25**	**0,26**	
Ecart-type	**0,16**	**0,14**	**0,11**	
Etendue	**0,32**	**0,30**	**0,25**	
ICinf	**0,06**	**0,04**	**0,08**	
ICsup	**0,52**	**0,46**	**0,44**	

Antimoine	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,077	< LQ	< LQ	
S2	0,156	0,117	0,091	
S3	0,168	0,090	< LQ	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S4	0,289	< LQ	< LQ	
Moyenne	**0,17**	**0,10**	**0,09**	
Ecart-type	**0,09**	**0,02**	**#DIV/0!**	
Etendue	**0,21**	**0,03**	**-**	
ICinf	**0,02**	**0,08**	**0,09**	
ICsup	**0,32**	**0,12**	**0,09**	

Phase hivernale :

Arsenic	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,246	0,098	0,109	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,132	0,134	0,145	
S3	0,133	0,094	0,100	
S4	0,096	0,085	0,102	
Moyenne	**0,15**	**0,10**	**0,11**	
Ecart-type	**0,07**	**0,02**	**0,02**	
Etendue	**0,15**	**0,05**	**0,05**	
ICinf	**0,04**	**0,07**	**0,08**	
ICsup	**0,26**	**0,14**	**0,15**	

Cadmium	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,029	0,016	0,019	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,032	0,031	0,023	
S3	0,061	0,063	0,060	
S4	0,065	0,021	0,034	
Moyenne	**0,05**	**0,03**	**0,03**	
Ecart-type	**0,02**	**0,02**	**0,02**	
Etendue	**0,04**	**0,05**	**0,04**	
ICinf	**0,02**	**- 0,00**	**0,01**	
ICsup	**0,07**	**0,07**	**0,06**	

Plomb	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	2,263	2,005	2,021	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,295	0,322	0,295	
S3	1,481	1,413	1,496	
S4	1,045	0,549	0,817	
Moyenne	**1,27**	**1,07**	**1,16**	
Ecart-type	**0,82**	**0,78**	**0,76**	
Etendue	**1,97**	**1,68**	**1,73**	
ICinf	**- 0,13**	**- 0,12**	**- 0,07**	
ICsup	**2,67**	**2,27**	**2,38**	

Nickel	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,485	1,508	0,595	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,271	0,453	0,256	
S3	0,175	0,483	0,233	
S4	0,270	0,166	0,232	
Moyenne	**0,30**	**0,65**	**0,33**	
Ecart-type	**0,13**	**0,59**	**0,18**	
Etendue	**0,31**	**1,34**	**0,36**	
ICinf	**0,08**	**- 0,30**	**0,07**	
ICsup	**0,52**	**1,60**	**0,59**	

Chrome	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,905	0,635	0,738	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,228	0,013	0,013	
S3	0,421	0,303	0,384	
S4	0,490	0,178	0,493	
Moyenne	**0,51**	**0,28**	**0,41**	
Ecart-type	**0,28**	**0,26**	**0,30**	
Etendue	**0,68**	**0,62**	**0,73**	
ICinf	**0,03**	**- 0,16**	**- 0,11**	
ICsup	**0,99**	**0,72**	**0,92**	

Cuivre	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	4,575	2,931	2,358	
S2	2,368	1,002	0,777	
S3	2,097	1,629	1,551	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S4	2,048	0,681	0,927	
Moyenne	**2,77**	**1,56**	**1,40**	
Ecart-type	**1,21**	**0,99**	**0,72**	
Etendue	**2,53**	**2,25**	**1,58**	
ICinf	**0,98**	**0,04**	**0,28**	
ICsup	**4,57**	**3,16**	**2,53**	

Manganèse	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	2,451	1,891	2,734	
S2	0,846	0,551	0,779	
S3	0,843	0,819	0,895	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S4	1,019	0,594	0,869	
Moyenne	**1,29**	**0,96**	**1,32**	
Ecart-type	**0,78**	**0,63**	**0,94**	
Etendue	**1,61**	**1,34**	**1,95**	
ICinf	**0,15**	**0,01**	**0,07**	
ICsup	**2,43**	**1,91**	**2,71**	

Cobalt	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	< LQ	< LQ	< LQ	
S2	< LQ	< LQ	< LQ	
S3	< LQ	< LQ	< LQ	
S4	< LQ	< LQ	< LQ	Pas de données
Moyenne	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	
Ecart-type	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	
Etendue	**-**	**-**	**-**	
ICinf	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	
ICsup	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	

Vanadium	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,189	0,165	0,194	
S2	< LQ	< LQ	< LQ	
S3	< LQ	< LQ	< LQ	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S4	0,116	< LQ	0,130	
Moyenne	**0,15**	**0,16**	**0,16**	
Ecart-type	**0,05**	**#DIV/0!**	**0,05**	
Etendue	**0,07**	**-**	**0,06**	
ICinf	**0,10**	**0,16**	**0,12**	
ICsup	**0,20**	**0,16**	**0,21**	

Antimoine	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,453	0,279	0,298	
S2	0,107	0,107	< LQ	
S3	0,140	0,157	0,141	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S4	0,168	< LQ	0,078	
Moyenne	**0,22**	**0,18**	**0,17**	
Ecart-type	**0,16**	**0,09**	**0,11**	
Etendue	**0,35**	**0,17**	**0,22**	
ICinf	**-0,03**	**0,06**	**0,02**	
ICsup	**0,46**	**0,30**	**0,33**	

Concentrations atmosphériques en HCl (µg/m^3)

Phase printanière :

HCL	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,213	0,329	0,242	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,441	0,503	0,492	
S3	0,316	0,530	0,476	
S4	0,048	0,371	0,347	
Moyenne	**0,25**	**0,43**	**0,39**	
Ecart-type	**0,17**	**0,10**	**0,12**	
Etendue	**0,39**	**0,20**	**0,25**	
ICinf	**- 0,02**	**0,29**	**0,21**	
ICsup	**0,53**	**0,58**	**0,57**	

Phase hivernale :

HCL	Gendarmerie	Stade Hauray	Saint Jean de Boiseau	Conclusion
S1	0,515	0,091	0,062	L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les sites
S2	0,421	0,765	0,069	
S3	0,276	0,168	0,087	
S4	0,603	0,252	0,153	
Moyenne	**0,45**	**0,32**	**0,09**	
Ecart-type	**0,14**	**0,30**	**0,04**	
Etendue	**0,33**	**0,67**	**0,09**	
ICinf	**0,22**	**- 0,16**	**0,03**	
ICsup	**0,69**	**0,80**	**0,16**	

Annexe 10 : 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] 1er seuil : 240 [2] 2ème seuil : 300 [3] 3ème seuil : 360 ou à partir du 2e jour de prévision de dépassement du seuil de recommandation et d'information (persistance)	400 [2] 200 [3]	-	500 [2]
	Moyenne 24-horaire	-	-	80 ou à partir du 2e jour de dépassement du seuil de recommandation et d'information (persistance)	-

(1) pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire.
(2) dépassé pendant 3h consécutives.
(3) si la procédure de recommandation et d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

Seuil de recommandation et d'information : niveau de pollution atmosphérique qui a des effets limités et transitoires sur la santé en cas d'exposition de courte durée et à partir duquel une information de la population est susceptible d'être diffusée.

Seuil d'alerte : niveau de pollution atmosphérique au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

AUTRES SEUILS RÉGLEMENTAIRES

Décret 2010-1250 du 21/10/2010

TYPE DE SEUIL (µg/m³)	DURÉE CONSIDÉRÉE	POLLUANTS												
		OZONE (O_3)	DIOXYDE D'AZOTE (NO_2)	OXYDES D'AZOTE (NO_x)	PARTICULES FINES (PM10)	PARTICULES FINES (PM2.5)	BENZÈNE	MONOXYDE DE CARBONE (CO)	DIOXYDE DE SOUFRE (SO_2)	PLOMB	ARSENIC	CADMIUM	NICKEL	BENZO(a) PYRÈNE
Valeur limite	Moyenne annuelle	-	40	30 [1]	40	25	5	-	20 [1]	0,5	-	-	-	-
	Moyenne hivernale	-	-	-	-	-	-	-	20 [1]	-	-	-	-	-
	Moyenne journalière	-	-	-	50 [2]	-	-	-	125 [3]	-	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	-	-	-	-	-	-	10 000	-	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	200 [4]	-	-	-	-	-	350 [5]	-	-	-	-	-
Objectif de qualité	Moyenne annuelle	-	40	-	30	10	2	-	50	0,25	-	-	-	-
	Moyenne journalière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne 8-horaire maximale du jour	120 [9]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne horaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	AOT 40	6 000 [6] [8]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valeur cible	AOT 40	18 000 [6] [8]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	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 j par an (percentile 90,4 annuel)
(3) à ne pas dépasser plus de 3 j par an (percentile 99,2 annuel)
(4) à ne pas dépasser plus de 18 h par an (percentile 99,79 annuel)
(5) à ne pas dépasser plus de 24 h 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 j 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.

VALEURS GUIDES DE L'OMS

Septembre 2021

	PARTICULES FINES PM2,5		PARTICULES FINES 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/m³ [a]	5 µg/m³	45 µg/m³ [a]	15 µg/m³	100 µg/m³ [a] (moy. sur 8h) 60 µg/m³ [b] (saison de pointe)	-	200 µg/m³ (moy. horaire) 25 µg/m³ [a] (moy. sur 24h)	10 µg/m³	500 µg/m³ (moy. sur 10 min) 40 µg/m³ [a] (moy. sur 24h)	-	100 mg/m³ (moy. sur 15 min) 35 mg/m³ (moy. horaire) 10 mg/m³ (moy. sur 8h) 4mg/m³ [a] (moy. sur 24h)

[a] : 99e percentile (c'est à dire 3-4 jours de dépassement par an)

[b] : Moyenne de la concentration maximale journalière d'ozone en moyenne sur 8 heures pendant les six mois consécutifs où la concentration d'ozone en moyenne glissante sur six mois est la plus élevée.

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