



CHAUFFAGE AU BOIS RÉSIDENTIEL

Évaluation de la pollution particulaire en
lien avec le recours au chauffage au bois
résidentiel individuel

Campagne - hiver 2026



Sommaire

Synthèse	2
Introduction	4
Cadastre des émissions de particules fines PM2.5	5
Campagne de mesure.....	12
Dispositif mis en œuvre	12
Taux de saisie des mesures	13
Conditions météorologiques	14
Particules PM10.....	16
Particules fines PM2.5.....	18
Particules PM1.....	20
Particules ultrafines (PUF)	22
Carbone suie	27
Conclusions et perspectives.....	30
Annexes	31

Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Eneour Le Guiban, Cadastre des émissions : Corentin Berger, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : François Fauchaux et l'équipe métrologie d'Air Pays de la Loire, 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 de l'environnement, précisé par l'arrêté du 2 août 2025 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

À 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 Trangé, les équipes de la direction de l'architecture et des régies techniques du Mans Métropole, ainsi que de la cantine scolaire Gué Bernisson de nous avoir permis d'installer nos remorques laboratoires pour mener à bien cette étude.

Synthèse

Contexte

Compte tenu de l'impact sanitaire de la pollution de l'air, GRDF cherche à identifier et à promouvoir à l'échelle locale, un mix énergétique permettant de minimiser l'impact sur la qualité de l'air, tout en garantissant un niveau important d'énergies renouvelables. Ainsi, GRDF a initié un projet de recherche portant sur les émissions urbaines, dont l'objectif est d'identifier les principales émissions à l'échelle d'une ville. En particulier au Mans, où l'objectif est de quantifier les émissions de méthane du réseau de distribution.

C'est dans ce contexte que GRDF a sollicité Air Pays de la Loire afin de mener une étude sur le territoire du Mans, portant sur les émissions des différents modes de chauffage, et notamment le chauffage individuel au bois, particulièrement émetteur de particules fines PM2.5. En effet, le bois-énergie constitue aujourd'hui la première source régionale d'émissions de particules fines PM2.5, à hauteur de 63 % des émissions régionales, dont 61 % proviennent du chauffage individuel au bois, lequel représente ainsi 97 % des émissions de PM2.5 de cette filière (données 2022 – BASEMIS® V8).

Objectifs

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'influence des émissions particulières liées au chauffage domestique au bois sur la qualité de l'air respirée par les riverains.

Moyens

L'étude a été menée en deux volets :

1. La réalisation d'un cadastre des émissions de particules PM2.5 sur le territoire du Mans Métropole. Ce cadastre a permis d'identifier deux zones d'intérêt. Une première zone où les émissions de particules PM2.5 proviennent principalement du chauffage individuel au bois : le site périurbain de Trangé. Et une seconde zone peu influencée par le chauffage au bois : le site urbain des Sablons.
2. Le suivi en continu des concentrations atmosphériques en particules (PM10, PM2.5, PM1, carbone suie, et particules ultrafines), simultanément sur les deux sites identifiés par le cadastre des émissions.

Résultats

Le suivi simultané des concentrations en PM10, PM2.5, PM1, carbone suie et particules ultrafines sur les sites de Trangé et des Sablons, réalisé entre le 15/01/2026 et le 03/03/2026 a montré :

- Des niveaux en PM10 moyens et médians approximativement 10 % plus élevés à Trangé, sur l'ensemble de la période, et en particulier en soirée avec des niveaux moyens 26 % plus élevés entre 18h et minuit, et un maximum de +42 % à 19h.
- Des niveaux en PM2.5 moyens et médians approximativement 20 % plus élevés à Trangé, sur l'ensemble de la période, et en particulier en soirée avec des niveaux moyens 46 % plus élevés entre 18h et minuit, et un maximum de +77 % à 19h.
- Des niveaux en PM1 moyens et médians approximativement 30 % plus élevés à Trangé, sur l'ensemble de la période, et en particulier en soirée avec des niveaux moyens 63 % plus élevés entre 18h et minuit, et un maximum de +110 % à 19h.

En particulier sur les journées les plus froides, où le recours au chauffage a été plus fort, il a été constaté :

- Des niveaux moyens de PM10, 20 % plus élevés sur le site de Trangé par rapport aux Sablons, des niveaux médians similaires, et des niveaux de pointe (percentile 98) 50 % plus élevés.
- Des niveaux moyens de PM2.5, 24 % plus élevés sur le site de Trangé par rapport aux Sablons, des niveaux médians 14 % plus élevés, et des niveaux de pointe (percentile 98) 42 % plus élevés.
- Des niveaux moyens de PM1, 30 % plus élevés sur le site de Trangé par rapport aux Sablons, des niveaux médians 37 % plus élevés, et des niveaux de pointe (percentile 98) 41 % plus élevés.
- Des concentrations moyennes et médianes en particules ultrafines près de respectivement 50 % et 60 % plus élevées sur le site de Trangé par rapport au site des Sablons.
- Une élévation des concentrations en particules ultrafines entre 50 nm et 200 nm, et un nombre le plus élevé près des 90 nm lors des journées les plus froides.
- Une corrélation entre concentrations en carbone suie lié à la combustion de biomasse et concentrations en PM10, PM2.5, PM1 et particules ultrafines entre approximativement 50 et 200 nm.
- Une corrélation entre carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles et concentrations en particules ultrafines de diamètres inférieurs à approximativement 40 nm.
- Une absence de corrélation entre concentrations de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles et concentrations en PM10, PM2.5 et PM1.

Conclusions et perspectives

Finalement, l'ensemble de ces résultats confirme l'influence de la combustion de biomasse, et en particulier du chauffage individuel au bois sur les concentrations atmosphériques en particules PM10, PM2.5, PM1, carbone suie et particules ultrafines (comprises entre 50 et 200 nm, avec un maximum autour des 90 nm). Ces observations sont cohérentes avec celles rapportées dans des études similaires menées notamment en Île-de-France et en Allemagne.

Cette influence se traduit par une augmentation des concentrations en particules, notamment en soirée, à des niveaux significativement plus élevés sur le site périurbain de Trangé que sur le site urbain des Sablons, malgré des conditions météorologiques peu favorables au recours au chauffage (températures particulièrement douces pour la saison) et favorables au lessivage des particules (pluviométrie particulièrement élevée en février).

Introduction

La pollution atmosphérique par les particules fines demeure une problématique majeure en termes de santé publique. Selon la dernière évaluation de l'impact de la qualité de l'air sur la santé de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE), qui a été publiée en novembre 2023, 253 000 décès auraient pu être évités dans l'Union européenne (UE) si les concentrations de particules fines avaient respecté les recommandations de l'OMS.

En France, Santé publique France a actualisé l'estimation du poids total de la pollution de l'air ambiant sur la santé de la population française pour la période 2016 à 2019. Elle conclut que la mortalité liée à la pollution de l'air ambiant reste un risque conséquent en France avec 40 000 décès attribuables chaque année aux particules fines (PM_{2,5})¹.

Compte tenu de l'impact sanitaire de la pollution de l'air, GRDF cherche à identifier et à promouvoir à l'échelle locale, un mix énergétique permettant de minimiser l'impact sur la qualité de l'air, tout en garantissant un niveau important d'énergies renouvelables. Ainsi, GRDF a initié un projet de recherche portant sur les émissions urbaines, dont l'objectif est d'identifier les principales émissions à l'échelle d'une ville. En particulier au Mans, où l'objectif est de quantifier les émissions de méthane du réseau de distribution.

C'est dans ce contexte que GRDF a sollicité Air Pays de la Loire afin de mener une étude sur le territoire du Mans, portant sur les émissions des différents modes de chauffage, et notamment le chauffage individuel au bois, particulièrement émetteur de particules fines PM_{2.5}. En effet, le bois-énergie constitue aujourd'hui la première source régionale d'émissions de particules fines PM_{2.5}, à hauteur de 63 % des émissions régionales, dont 61 % proviennent du chauffage individuel au bois, lequel représente ainsi 97 % des émissions de PM_{2.5} de cette filière². L'objectif de l'étude est d'évaluer l'influence des émissions particulières liées au chauffage domestique au bois sur la qualité de l'air respirée par les riverains.

Pour ce faire, l'étude a été menée en deux volets :

1. Un premier volet qui consiste en la réalisation d'un cadastre des émissions de particules PM_{2.5} sur le territoire du Mans Métropole. Ce cadastre a pour objectif d'identifier deux zones d'intérêt. Une première zone où les émissions de particules PM_{2.5} proviennent principalement du chauffage individuel au bois. Et une seconde zone peu influencée par le chauffage au bois.
2. Le second volet consiste en un suivi en continu des concentrations atmosphériques en particules (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, carbone suie, et particules ultrafines), simultanément sur les deux sites identifiés par le cadastre des émissions.

Ce rapport présente les résultats de l'étude menés durant l'hiver 2026.

¹ [*Estimation de la morbidité attribuable à l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant et de ses impacts économiques en France hexagonale, 2016-2019*](#)

² Air Pays de la Loire – Inventaire des émissions BASEMIS® V8 – 2024

Cadastre des émissions de particules fines PM2.5

Méthodologie

Un cadastre des émissions est un inventaire spatialisé des émissions de polluants atmosphériques sur un territoire donné. L'objectif est d'identifier des zones d'intérêt sur le territoire de Le Mans Métropole :

- une zone où les émissions de PM2.5 proviennent principalement du chauffage individuel au bois
- une zone urbaine peu influencée par le chauffage aux bois

Les émissions utilisées pour réaliser le cadastre des émissions de PM2.5 sur le territoire de Le Mans Métropole proviennent de l'inventaire BASEMIS® V8 pour l'année 2022.

Depuis 2010, Air Pays de la Loire réalise l'inventaire régional BASEMIS®, utilisé et reconnu par une soixantaine d'acteurs dans la région Pays de la Loire. Cet inventaire est mis à jour tous les deux ans pour assurer le suivi des indicateurs climat-air-énergie tout en assurant une mise à jour des méthodologies et des données d'entrée correspondant à l'état de l'art, pour l'ensemble des années inventoriées.

Le principe général de l'inventaire BASEMIS® est de calculer les consommations d'énergie et émissions d'un territoire à partir de données d'activité. Ces données d'activité sont collectées auprès de différentes sources de données, en favorisant en priorité les données locales.

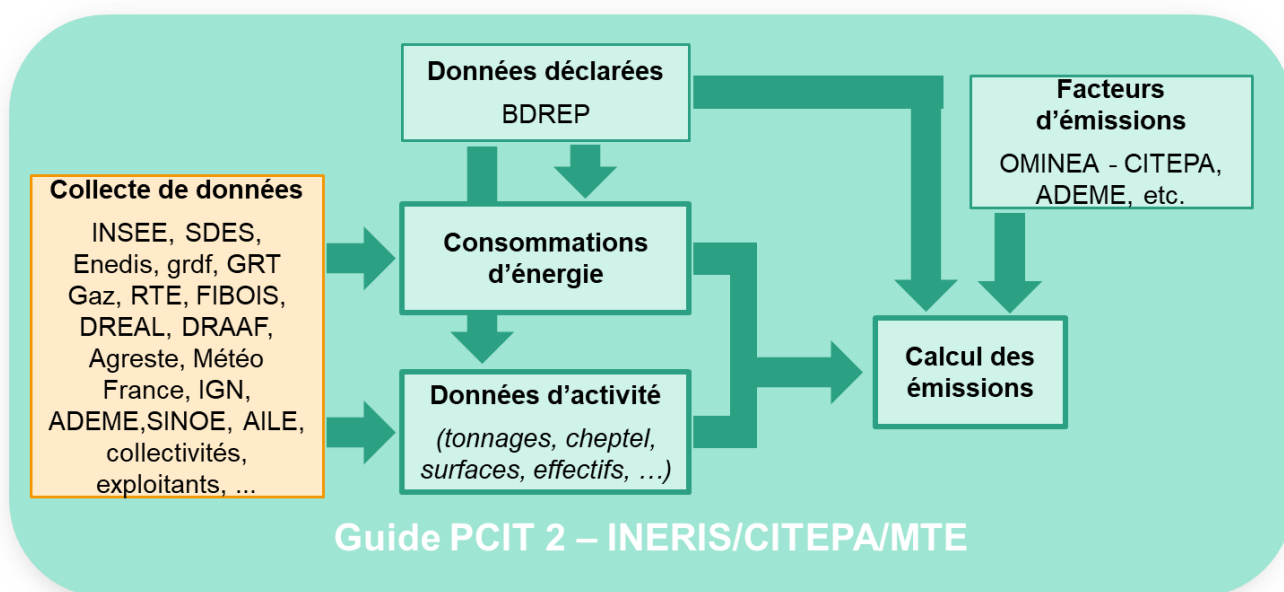


Figure 1 : méthodologie générale de calcul des consommations d'énergie et émissions utilisées dans BASEMIS®

Les émissions à la maille la plus fine, issues de BASEMIS sont disponibles à l'échelle communale pour les différentes activités polluantes. Ces données doivent être déclinées à une maille plus fine afin de réaliser un cadastre adapté, soit sur une grille de 200 m x 200 m.

Dans BASEMIS®, trois types de sources sont intégrées :

- sources ponctuelles (établissements géolocalisés)
- sources linéaires (routes, axes ferroviaires...)
- sources surfaciques (à l'échelle communale)

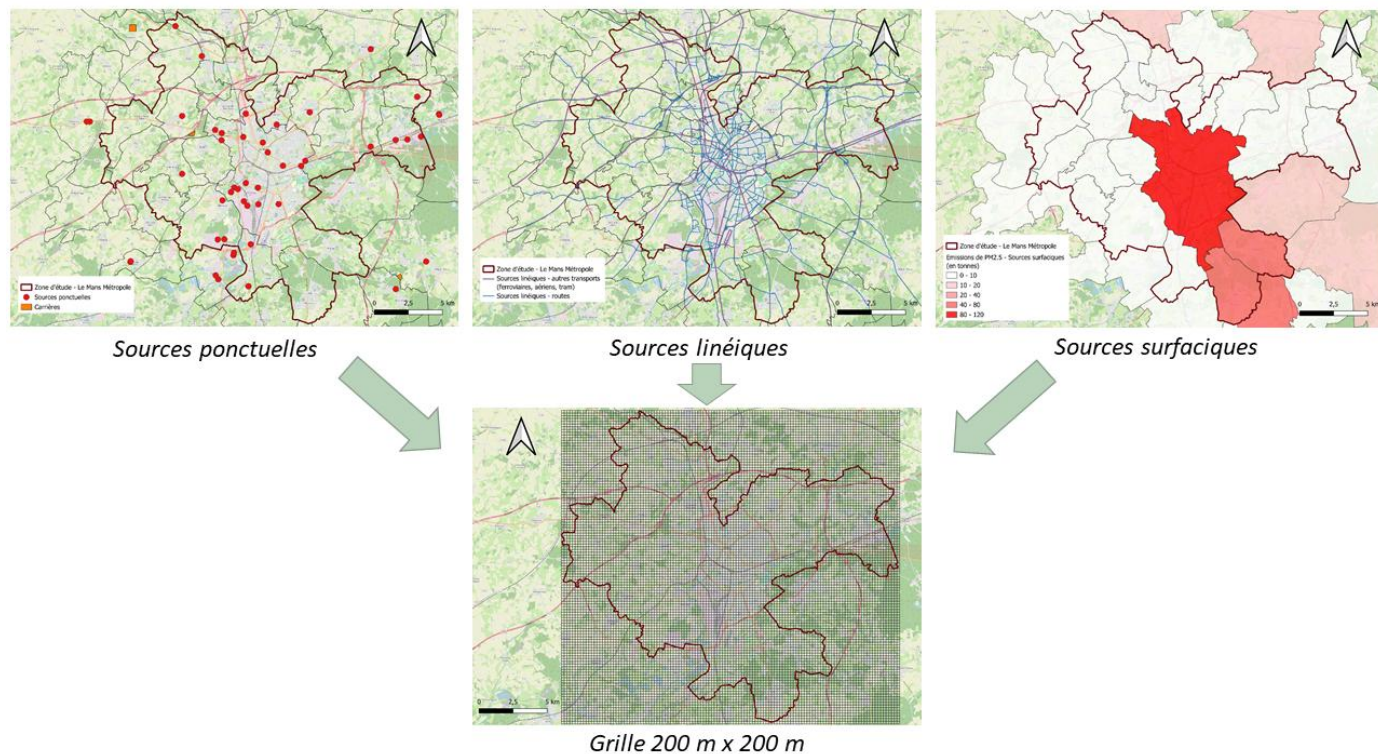


Figure 2 : méthodologie de construction du cadastre sur une grille de 200 m x 200 m à partir des émissions de PM2.5 issues de BASEMIS® V8 pour l'année 2022 pour différentes sources (sources ponctuelles, sources linéiques et sources surfaciques)

Pour répartir les émissions surfaciques de PM2.5 par activité polluante, calculées à l'échelle de la commune dans l'inventaire BASEMIS sur une grille de 200 m x 200 m, celles-ci ont été ventilées sur des zones d'occupation des sols. Ces zones d'occupation des sols proviennent de la base OCS GE, produite par l'IGN et le Cerema. Elles ont été croisées avec la Base de données nationale des bâtiments (BDNB) du Centre scientifique et technique du bâtiment (BSTB), afin d'identifier notamment les zones résidentielles individuelles.

Les sources linéaires, quant à elles, ont été réparties en fonction de la longueur des tronçons présents dans chaque maille.

Résultats

Les résultats du cadastre des émissions totales de PM2.5 à l'échelle de la métropole du Mans est présentée ci-dessous :

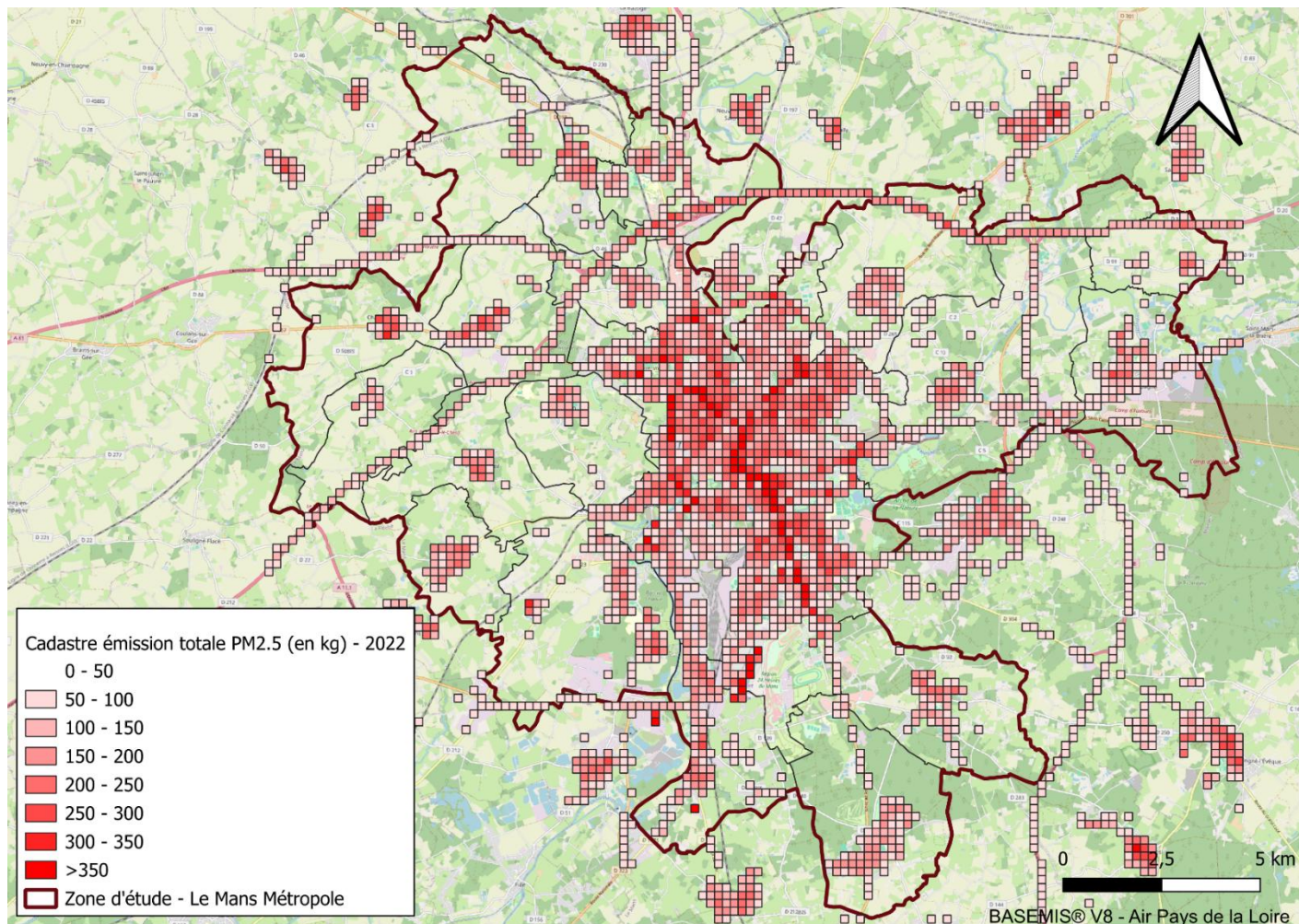


Figure 3 : cadastre des émissions de PM2.5 sur Le Mans Métropole en 2022

Ces résultats indiquent des émissions de PM2.5 les plus élevées au centre-ville du Mans, en particulier à proximité des plus importantes voies de circulation, où se cumulent les émissions liées aux trafics routier et ferroviaire, ainsi que celles issues du résidentiel.

Afin de localiser les deux sites de mesure, une seconde cartographie a été réalisée en complément de la première. Il s'agit du cadastre des émissions de PM2.5 issues exclusivement du bois résidentiel.

Le premier site à identifier est un site influencé par des émissions de chauffage au bois résidentiel. Les résultats de la figure suivante ont permis de mettre en avant des communes plutôt périurbaines où les émissions de PM_{2.5} sont essentiellement issues du chauffage au bois résidentiel (à plus de 80 %) :

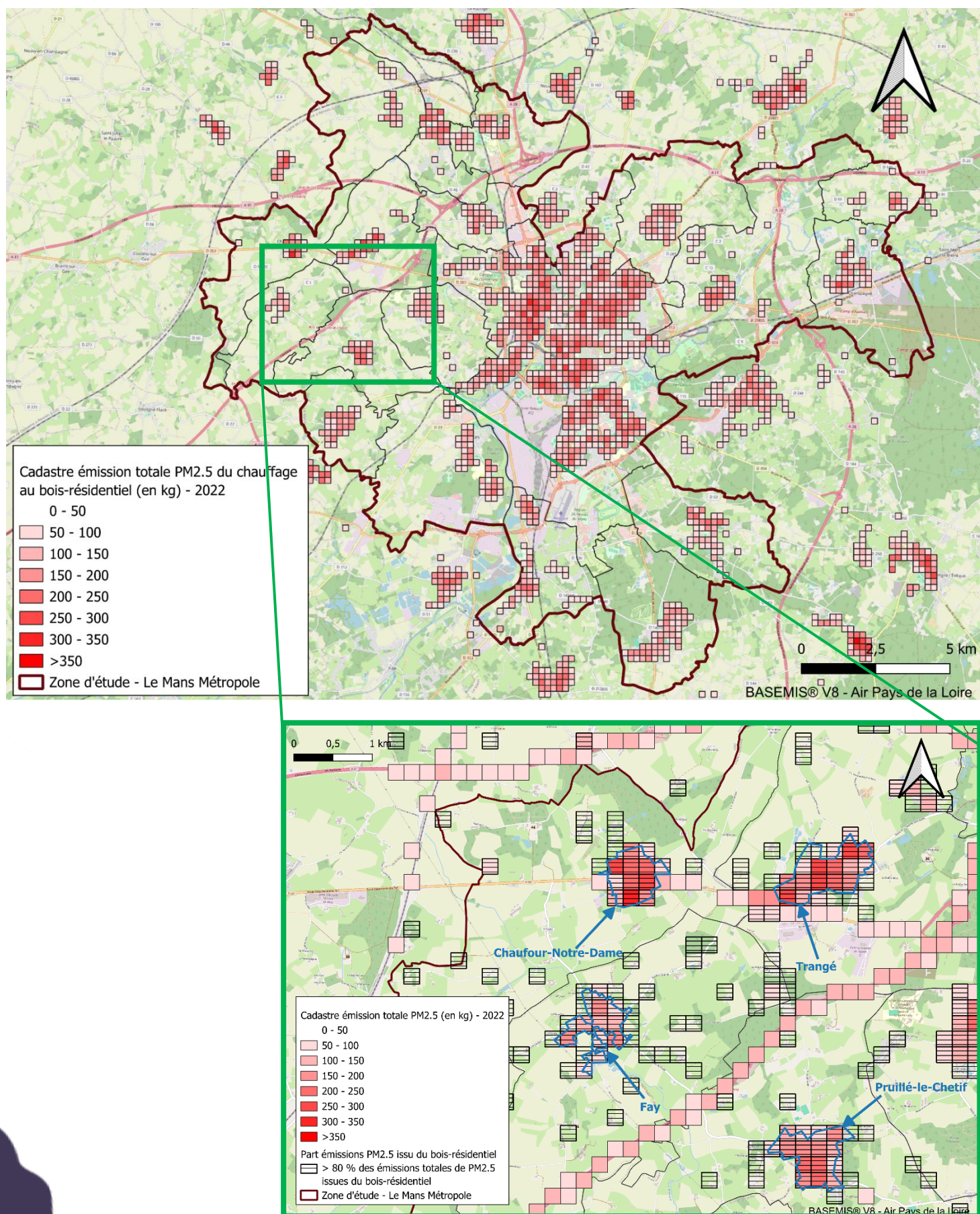


Figure 4 : cadastre des émissions de PM_{2.5} issues de bois-résidentiel sur Le Mans Métropole en 2022 – site influencé par le chauffage au bois résidentiel

En complément du cadastre des émissions, des éléments portant sur le nombre d'habitant par communes, le ratio entre émissions de PM2.5 du bois résidentiel par nombre d'habitant, ainsi que la part des logements chauffés au bois ont été considérés. Ces éléments sont présentés dans le tableau suivant :

	Population (hab.)	PM2.5 du bois-résidentiel (kg/hab.)	Part chauffage de type bois (%)	Présence réseau de distribution de gaz
Fay	720	3,1	30 %	Non
Chaufour-Notre-Dame	1 156	2,6	22 %	Non
Pruillé-le-Chétif	1 338	2,4	19 %	Oui
Trangé	1 596	2,6	26 %	Non
Le Mans	144 962	0,6	2 %	Oui

Tableau 1 : éléments statistiques des communes considérées dans l'étude

Source : BASEMIS[®] sur base FDL³ INSEE, Agence ORE & Gestionnaires de réseaux électricité et gaz

La commune de Trangé a été privilégiée dans l'étude du fait de sa part élevée d'équipements de chauffage au bois, et de l'absence de réseau de distribution de gaz. Il s'agit par ailleurs de la commune la plus habitée dans la zone. La ville du Mans a été écartée compte tenu du faible pourcentage de la part d'équipement de chauffage au bois, et de la difficulté de caractériser l'existence ou non du recours au chauffage au bois dans les zones pavillonnaires de la ville, le réseau de distribution de gaz étant présent.

La figure suivante présente la localisation du site de mesure, au niveau du parking de la Bibliothèque de Trangé :



Figure 5 : localisation du site de mesure influencé par le chauffage au bois résidentiel

Le site [Remonter de temps](#) de l'IGN nous a permis de dater les habitations du quartier à avant 2005.

³ Fichier détail Logements

La figure suivante présente la localisation du site de mesure non-influencé par le chauffage au bois résidentiel :

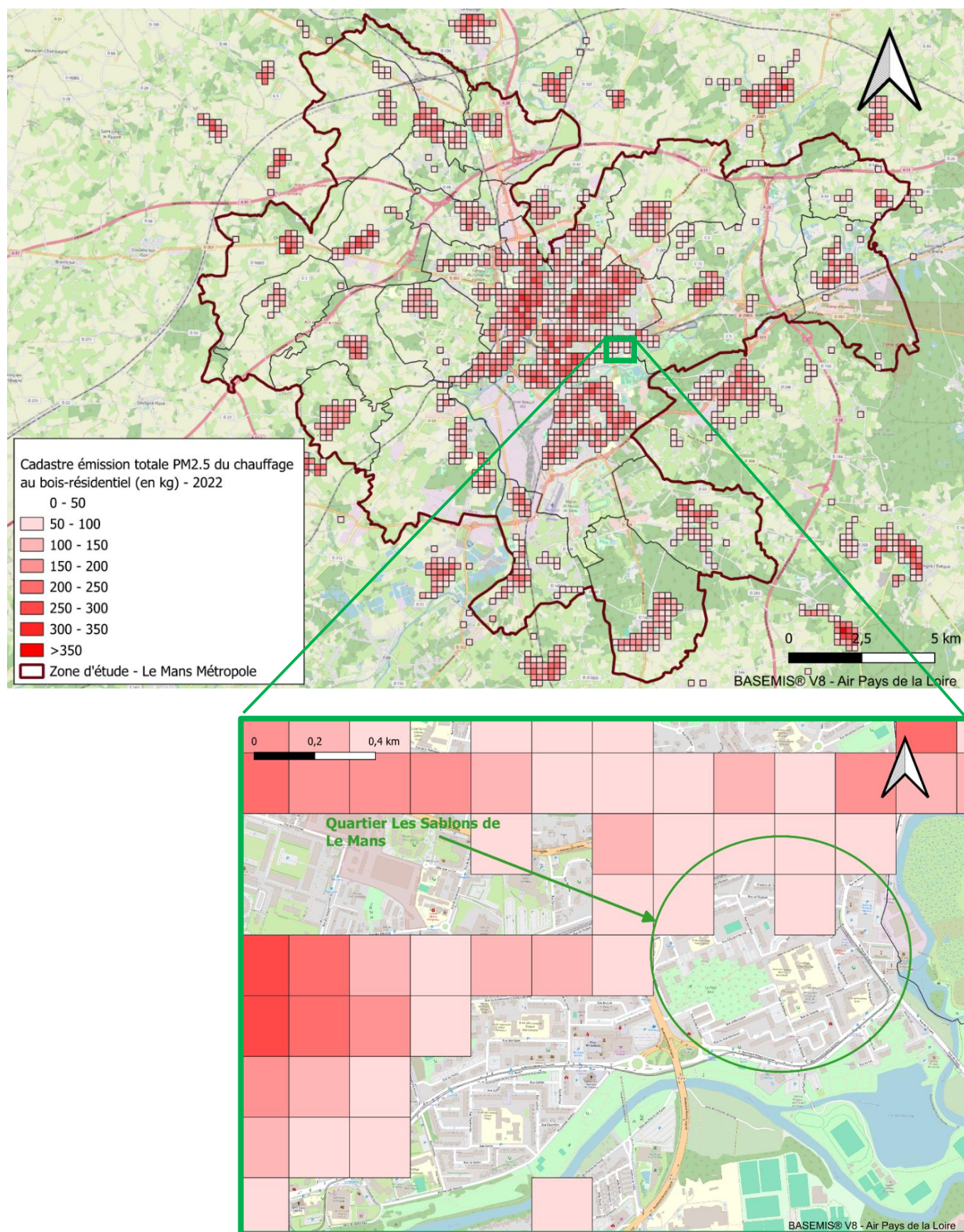


Figure 6 : cadastre des émissions de PM2.5 issues de bois-résidentiel sur Le Mans Métropole en 2022 – site non-influencé par le chauffage au bois résidentiel

Le quartier des Sablons a été privilégié compte tenu de la présence de nombreux immeubles d'habitations, de la présence du réseau de distribution de gaz et de l'absence de pavillons. Ces trois éléments conduisent à de faibles émissions de PM2.5 issues de bois-résidentiel dans ce quartier.

[illegible]

Campagne de mesure

L'objectif de cette campagne de mesure est d'appréhender l'influence des émissions de particules liées au chauffage domestique au bois sur les concentrations en particules mesurées dans l'air ambiant. Pour ce faire, deux remorques laboratoires ont été installées sur deux sites localisés dans des environnements distincts identifiés dans le cadastre des émissions de PM2.5 :

- Un premier environnement influencé par des émissions de chauffage résidentiel au bois : il s'agit de la commune de Trangé.
- Un second environnement peu influencé par des émissions issues du chauffage résidentiel au bois : le quartier des Sablons du Mans.

Dispositif mis en œuvre

Afin d'évaluer l'influence du recours au chauffage résidentiel au bois, deux remorques laboratoires ont été installées afin d'assurer un suivi en continu des concentrations atmosphériques en particules, simultanément sur les deux environnements identifiés par le cadastre des émissions. Ainsi, les concentrations en particules PM10, PM2.5, PM1, particules ultrafines (PUF) et carbone suie ont été mesurées durant la campagne.

Mesure en continu des particules PM10, PM2.5 et PM1



Les particules ont été mesurées en continu au pas de temps horaire par granulomètre optique FIDAS. Cet analyseur est basé sur la détection de la lumière diffusée par les aérosols pour déterminer leur taille et leur nombre par classe de taille, suivie d'une conversion en masse selon un algorithme spécifique. La mesure répond à la norme NF EN 16450 et est reconnue par le LCSQA pour la surveillance réglementaire des PM10 et PM2.5 depuis 2016.

Figure 8 : analyseur FIDAS

Mesure en continu des particules ultrafines PUF



La caractérisation des particules ultrafines se fait par comptage, à l'aide d'un SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) qui est composé d'un DEMC (Differential Electrical Mobility Classifier) qui sélectionne les particules suivant leurs tailles, via leurs mobilités électriques, et d'un CPC (Condensation Particle Counter) qui a pour but de les faire grossir afin de pouvoir les compter.

Le SMPS fournit une concentration en nombre de particules ultrafines par unité de volume ($\#/cm^3$). Il y a 140 canaux, pour des mesures comprises entre 5 nm et 430 nm. Il effectue un cycle de mesures toutes les 5 minutes.

Figure 9 : analyseur U-SMPS

Mesure en continu du carbone suie



Le carbone suie, ou black carbon, est issu des procédés de combustion incomplète. La mesure de ce polluant est basée sur l'absorption de la lumière par des particules prélevées en continu sur une bande filtrante. Elle permet d'estimer la distinction des concentrations de carbone suie issu de la combustion de biomasse ou de la combustion d'hydrocarbures fossiles. Il sera mesuré en continu au pas de temps quart-horaire à l'aide d'un aéthalomètre AE-33.

Figure 10 : analyseur Aethalomètre AE33

La figure suivante présente la localisation des deux sites de mesure :



Figure 11 : localisation des deux sites de mesure

Le tableau suivant récapitule les périodes de mesure pour chaque polluant, pour chacun des deux sites :

	Trangé	Sablons
Particules (PM10, PM2.5 et PM1)	15/01/2026 – 03/03/2026	15/01/2026 – 10/03/2026
Carbone suie (BC)	15/01/2026 – 03/03/2026	15/01/2026 – 10/03/2026
Particules ultrafines (PUF)	05/01/2026 – 03/03/2026	15/01/2026 – 10/03/2026

Ainsi, la période de mesures commune aux deux sites s'étend du 15 janvier au 3 mars 2026.

Taux de saisie des mesures

Le taux de saisie des mesures correspond à la proportion des mesures valides au sein de la période de mesure. Le tableau ci-dessous présente les taux de disponibilité des mesures par polluant sur la période de mesure commune de la campagne.

Taux de validité des mesures durant la période commune	PM10	PM2.5	PM1	AE33 (part biomasse)	Particules ultrafines (PUF)
Remorque Sablons	100 %	100 %	100 %	99 %	93 %
Remorque Trangé	98 %	98 %	98 %	99 %	99 %

Des taux de validité de plus de 93 % ont été relevés durant la période de mesure commune aux deux sites, indiquant un bon fonctionnement des différents analyseurs lors de la campagne de mesure.

Conditions météorologiques

Les températures journalières relevées au niveau de la station Météo-France du Mans sont présentées ci-dessous :

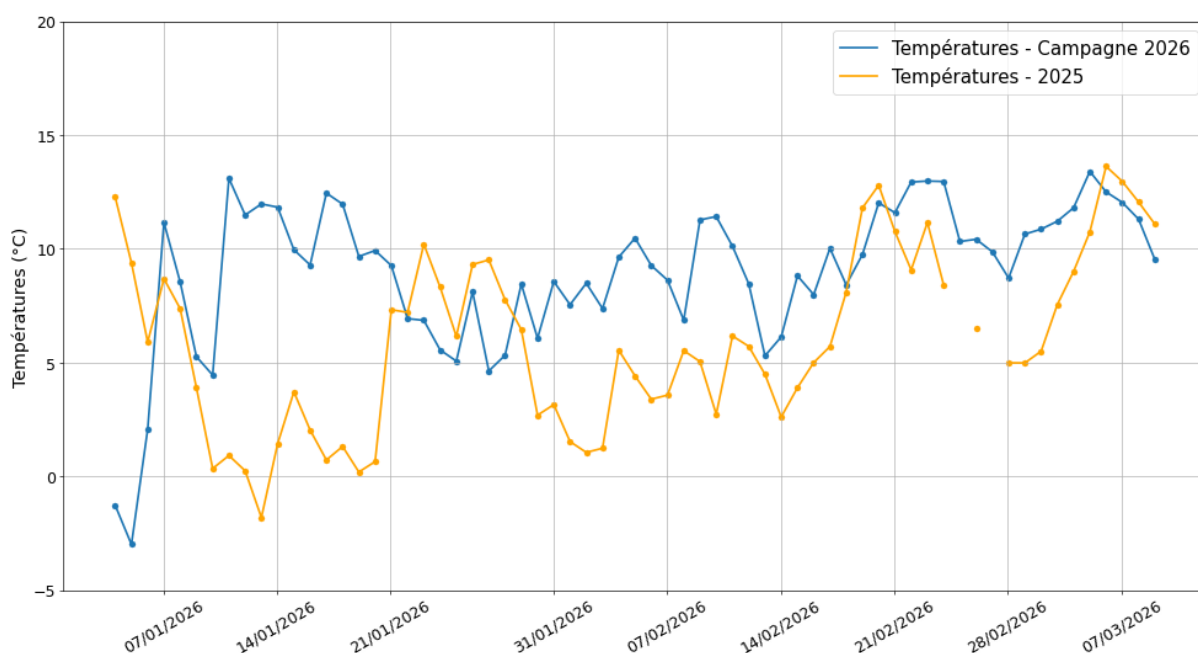


Figure 12 : évolution des températures moyennes journalières durant la campagne de mesure

Durant la période où les mesures ont été réalisées simultanément, les températures mesurées ont été particulièrement douces. En effet, entre le 15 et le 31 janvier, les températures minimales journalières mesurées ont été en moyenne supérieures de 3,3°C aux normales saisonnières (1991-2020), tandis que les températures maximales journalières ont été en moyenne supérieures de 2,8°C aux normales. De même sur l'ensemble du mois de février, les températures minimales journalières ont été en moyenne 4,5°C supérieures aux normales, et les températures maximales journalières, 3,3°C supérieures à celles-ci. Les mêmes constatations ont été faites début mars, avec des températures minimums et maximums respectivement 0,3°C et 3,2°C supérieures aux normales.

Le cumul des précipitations sur la période allant du 15 janvier au 3 mars 2026 s'est établi à 177 mm. Il s'agit d'une hausse de 106 % par rapport aux normales saisonnières (86 mm sur la période 2000 – 2025). À noter que cette hausse des précipitations par rapport aux normales s'est entièrement concentrée sur le mois de février, où les précipitations ont été 184 % plus élevées qu'à la normale.

La figure suivante présente une comparaison de la rose des vents enregistrée lors de la campagne de mesure (à gauche) et de celle calculée à partir des vents enregistrés sur les 25 dernières années sur la même période (à droite) :

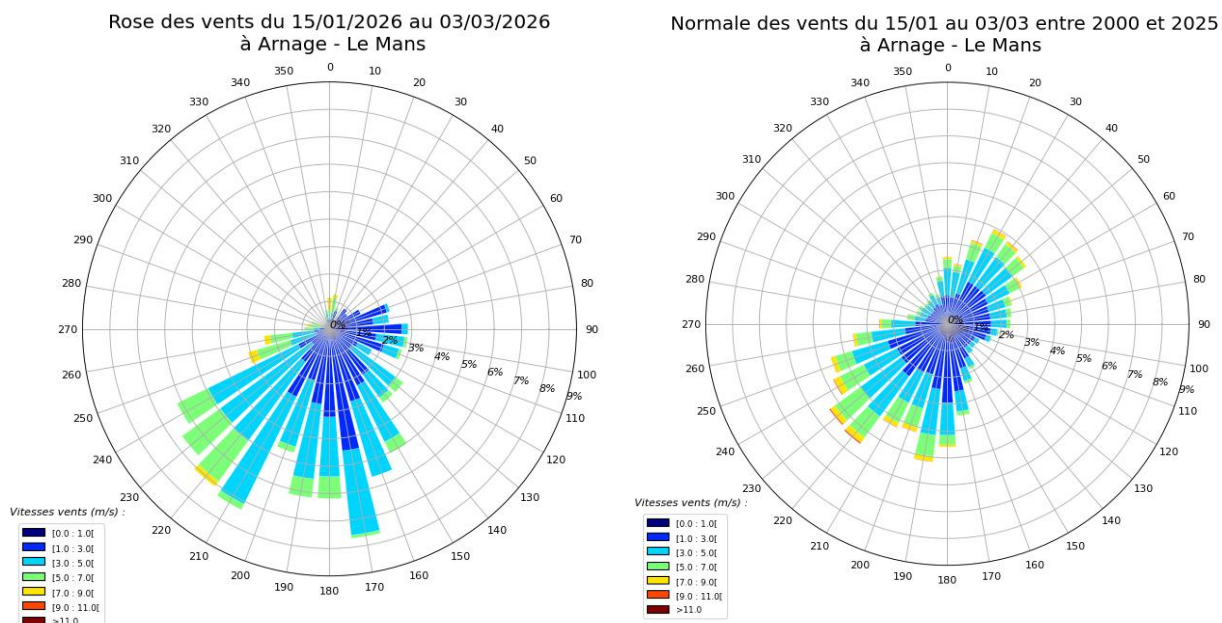


Figure 13 : rose des vents calculée sur la période de mesure de la campagne (à gauche) et rose des vents normale (à droite).
Source : Météo-France

La comparaison des deux roses ci-dessus fait ressortir une sous-représentation des vents de nord-est, couplée à une sur-représentation des vents de secteur sud.

L'évaluation du recours au chauffage durant la campagne a été réalisée à partir d'un indicateur appelé Degré-Jour-Unifiés (DJU). Cet indicateur permet de quantifier la rigueur climatique d'une période, et donc, d'indicateur de suivi de consommations énergétiques. Les DJU mesurent l'écart entre la température extérieure moyenne (calculée à partir des températures minimales et maximales) et une température de référence fixée à 18°C. Plus le DJU est élevé, plus la période aura été rigoureuse.

L'évolution des DJU durant la période de mesure est présentée ci-dessous :

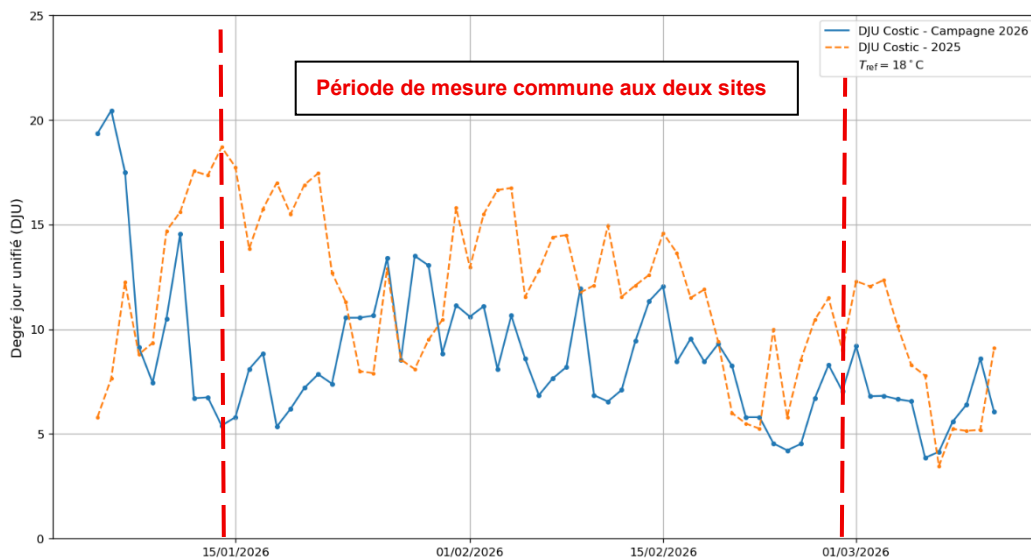


Figure 14 : évolution des DJU au cours de la campagne de mesure

Durant la campagne, les DJU ont été globalement plus faibles que l'année précédente à la même période, traduisant des températures douces pour la saison, excepté en tout début de période, entre le 5 et le 7 janvier, où des températures négatives associées à des chutes de neige ont été observées.

Finalement, au cours de la campagne, les conditions météorologiques ont été peu favorables aux émissions de particules liées au chauffage compte tenu des températures particulièrement douces. Elles ont par ailleurs été favorables au lessivage des particules, en lien avec des cumuls de précipitations supérieurs aux normales en février.

Résultats

Afin de caractériser l'influence du chauffage au bois résidentiel, les deux sites des Sablons et de Trangé seront comparés globalement, puis dans un second temps en tenant compte des DJU.

Particules PM10

La figure suivante présente les boxplots des mesures simultanées de particules PM10 des deux sites :

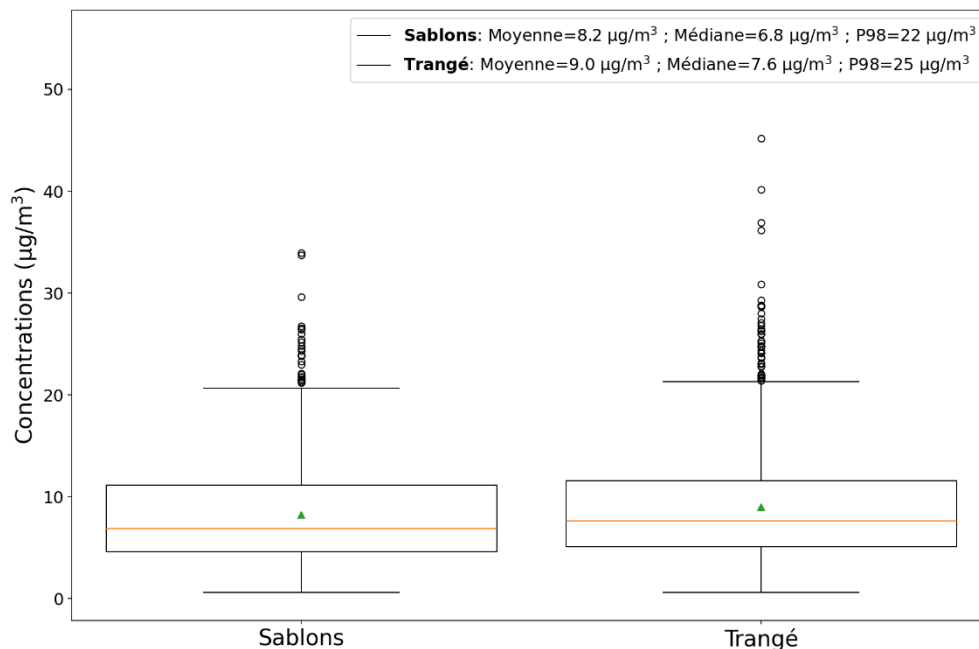


Figure 15 : boxplots des concentrations en particules PM10 sur l'ensemble de la période de mesures simultanées

Ces résultats indiquent qu'au global, des concentrations moyennes et médianes environ 10 % plus élevées ont été mesurées sur le site de Trangé.

En moyennant les données par heure dans la journée, un profil journalier est obtenu, et permet de faire ressortir les variations horaires des concentrations en PM10 au sein de la journée :

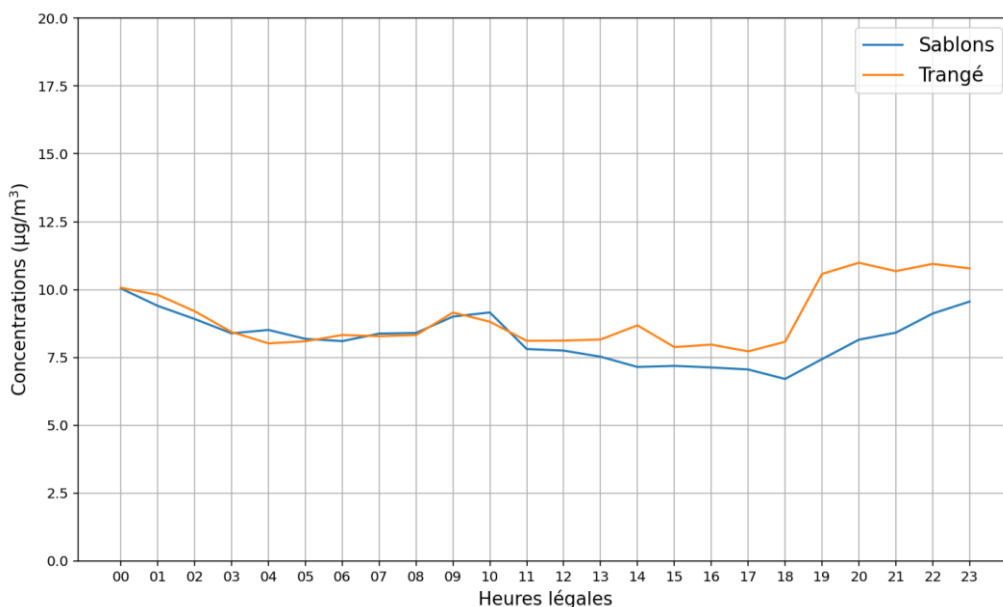


Figure 16 : profil journalier des concentrations en particules PM10 sur l'ensemble de la période de mesures simultanées

Ces résultats indiquent :

- Des concentrations de même ordre sur les deux sites jusqu'en début d'après-midi.
- Des concentrations près 13 % plus élevées dans l'après-midi, entre 14h et 17h sur le site de Trangé.
- Des concentrations en moyenne 26 % plus élevées (soit +2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre 18h et minuit, avec un maximum de 42 % plus élevé (+2,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à 19h sur le site de Trangé.

La hausse des concentrations en début de soirée, après 18h est visible sur les deux sites, mais est particulièrement marquée sur le site de Trangé. Cette augmentation est liée aux émissions issues du chauffage, auxquelles s'ajoutent les émissions du trafic routier associées aux trajets de retour au domicile en début de soirée. Par la suite, les émissions liées au chauffage deviennent prépondérantes.

Lorsque l'on considère les données dont le DJU est supérieur à 13, on remarque des niveaux moyens en PM10 environ 20 % plus élevés, et des niveaux de pointe (représentés par le percentile 98) près de 50 % plus élevés :

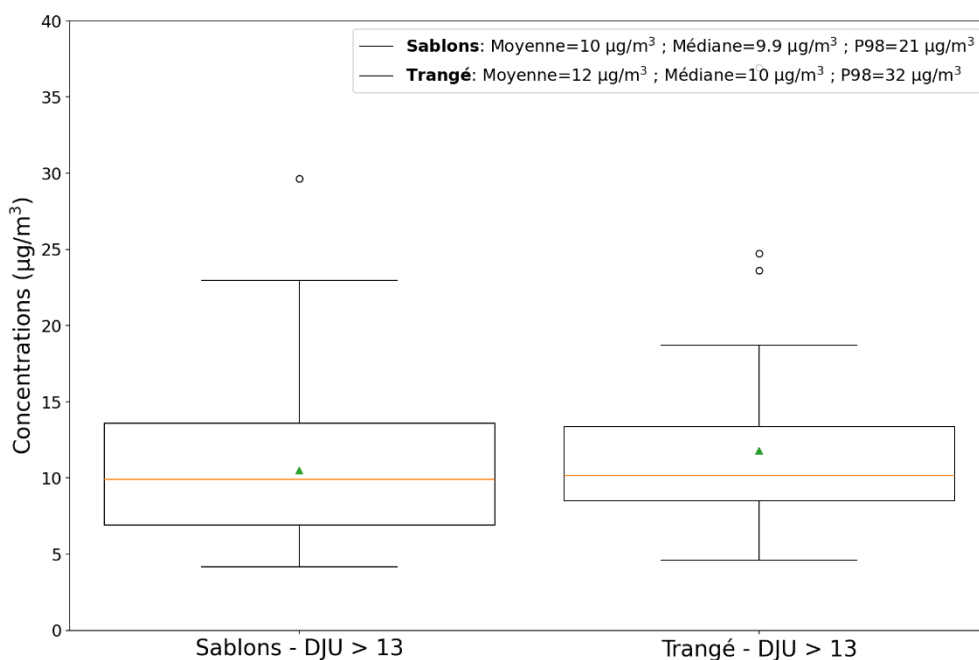


Figure 17 : boxplots des concentrations horaires en particules PM10 pour des DJU supérieurs à 13

Les résultats ci-dessus sont à prendre avec précautions au vu du faible nombre de jours où les DJU étaient supérieurs à 13. En effet, seuls 3 jours avec des DJU supérieurs à 13 ont été comptabilisés durant les mesures simultanées. Remarquons par ailleurs qu'un DJU de 13 n'est pas représentatif de conditions très rudes, mais plutôt moyennement rudes.

Particules fines fines PM2.5

La figure suivante présente les boxplots des concentrations en PM2.5 mesurées simultanément sur les deux sites :

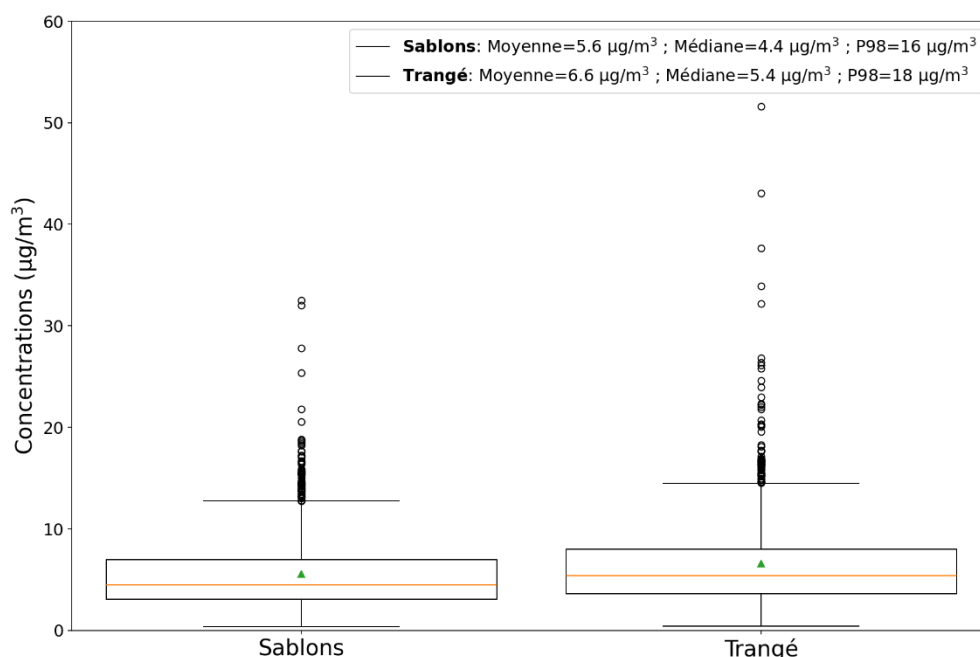


Figure 18 : boxplots des concentrations horaires en particules PM2.5 sur l'ensemble de la période de mesures simultanées

Ces résultats indiquent qu'au global, des concentrations moyennes et médianes environ 18 % et 22 % plus élevées ont été mesurées sur le site de Trangé.

En moyennant les données par heure dans la journée, un profil journalier est obtenu, et permet de faire ressortir les variations horaires des concentrations :

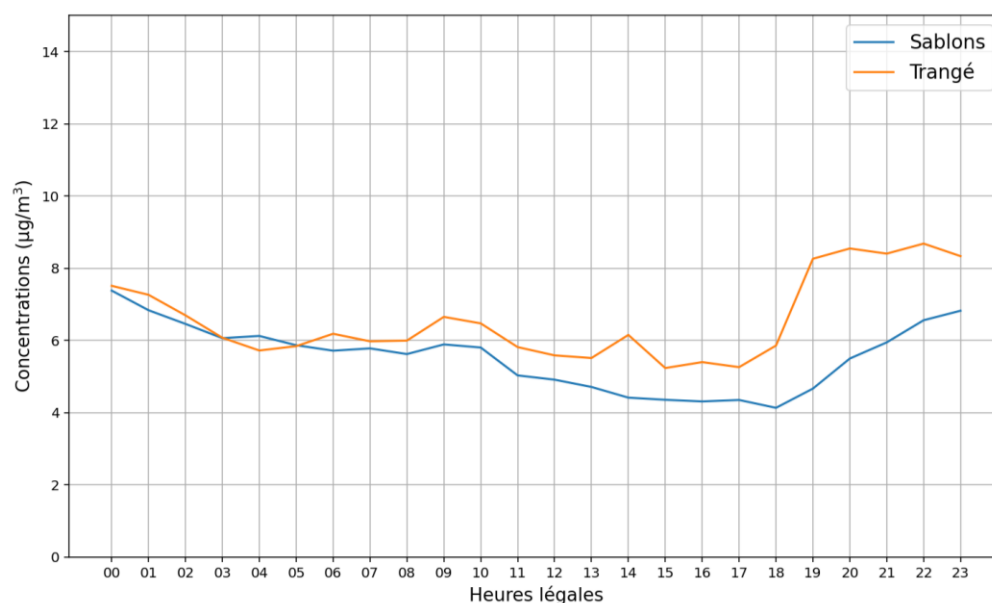


Figure 19 : profil journalier des concentrations horaires en particules PM2.5 sur l'ensemble de la période de mesures simultanées

Ces résultats indiquent :

- Des concentrations de même ordre sur les deux sites jusqu'en début de matinée.
- Des concentrations près de 14 % plus élevées entre 9h et 13h sur le site de Trangé.
- Des concentrations près de 26 % plus élevées entre 14h et 17h sur le site de Trangé.
- Des concentrations moyennes 46 % plus élevées (soit $+2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entre 18h et minuit, avec un maximum de 77 % plus élevé ($+3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) à 19h sur le site de Trangé.

De la même manière que pour les particules PM10, la hausse des concentrations en PM2.5 en début de soirée, visible sur les deux sites, mais particulièrement marquée sur le site de Trangé, est attribuée aux émissions de chauffage et du trafic routier en début de soirée, puis essentiellement au chauffage par la suite.

Des différences plus marquées entre les deux sites sont relevées sur les PM2.5 par comparaison aux PM10. En effet, les particules issues du chauffage résidentiel au bois sont essentiellement inférieures à 2,5 µm de diamètre, donc principalement représentées dans la fraction PM2.5.

À l'inverse, les PM10, englobent les PM2.5, mais également les particules de diamètre compris entre 2,5 et 10 µm, issues d'autres sources que le chauffage résidentiel au bois (remise en suspension de poussières, abrasion liée au trafic, ...). Ces sources supplémentaires de PM10 contribuent ainsi à atténuer les contrastes entre les sites de Trangé et des Sablons, en diluant la part relative des émissions de chauffage résidentiel, observée plus clairement dans les PM2.5.

Lorsque l'on considère les données dont le DJU est supérieur à 13, on remarque des niveaux moyens en PM2.5 environ 24 % plus élevés sur le site de Trangé, des niveaux médians 14 % plus élevés, et des niveaux de pointe (représentés par le percentile 98) 42 % plus élevés :

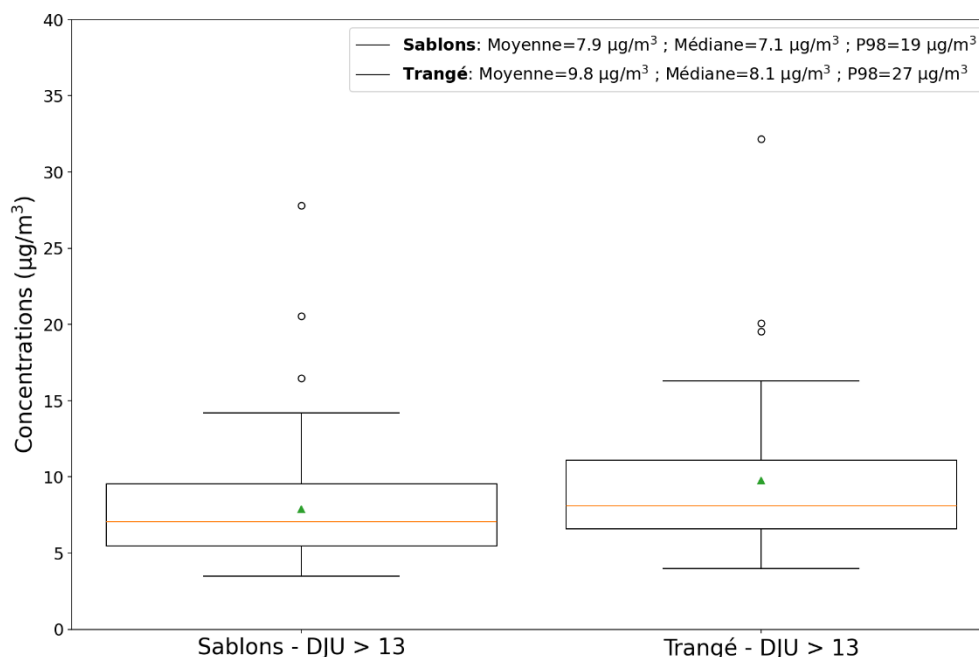


Figure 20 : boxplots des concentrations horaires en particules PM2.5 pour des DJU supérieurs à 13

Les résultats ci-dessus sont à prendre avec précautions au vu du faible nombre de jours où les DJU étaient supérieurs à 13. En effet, seuls 3 jours avec des DJU supérieurs à 13 ont été comptabilisés durant les mesures simultanées.

Particules PM1

La figure suivante présente les boxplots des mesures simultanées des deux sites :

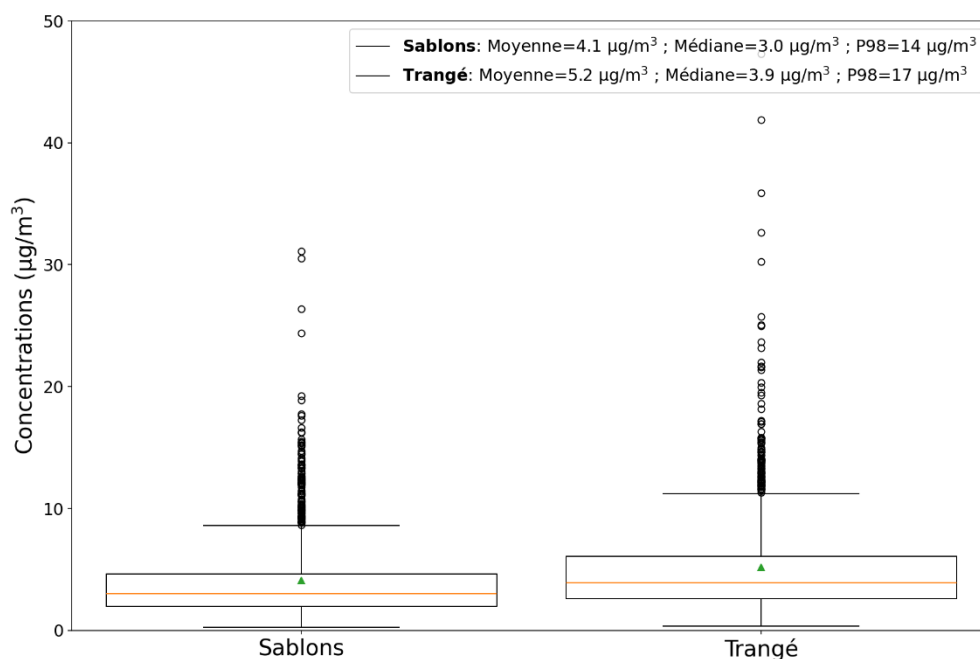


Figure 21 : boxplots des concentrations horaires en particules PM1 sur l'ensemble de la période de mesures simultanées

Les concentrations moyennes et médianes de particules PM1 sont respectivement 27 % et 30 % plus élevées sur le site de Trangé.

L'évolution des concentrations en PM1 au sein d'une journée moyenne est présentée ci-dessous :

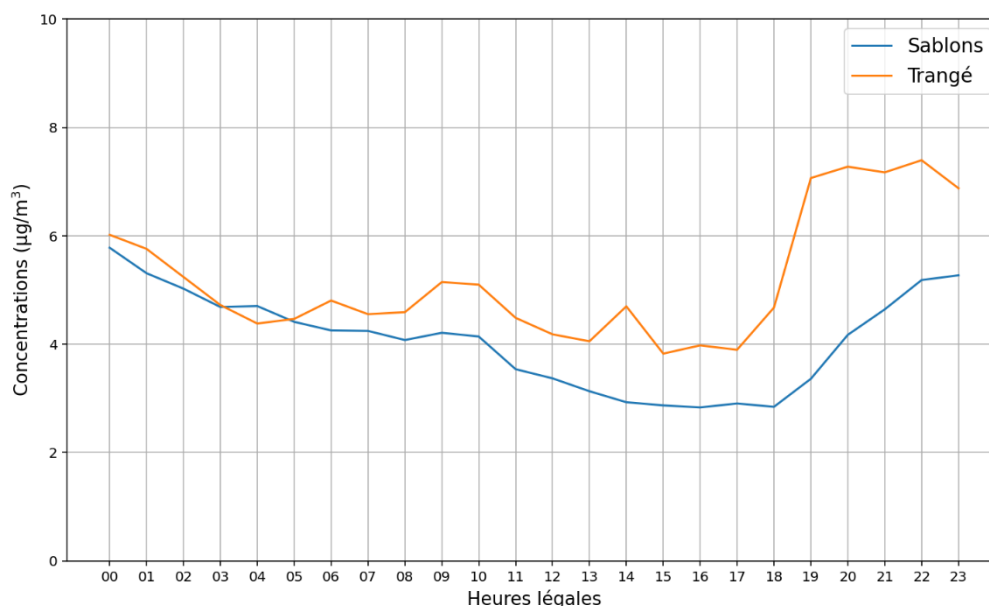


Figure 22 : profil journalier des concentrations horaires en particules PM1 sur l'ensemble de la période de mesures simultanées

Ces résultats indiquent :

- Des concentrations de même ordre sur les deux sites jusqu'en début de matinée.
- Des concentrations près de 25 % plus élevées entre 9h et 13h sur le site de Trangé.
- Des concentrations près de 42 % plus élevées entre 14h et 17h sur le site de Trangé.
- Des concentrations moyennes 63 % plus élevées (soit +2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre 18h et minuit, avec un maximum de 110 % plus élevé (+3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à 19h sur le site de Trangé.

La même constatation est faite pour les PM1 que pour les PM2.5, avec une influence du chauffage résidentiel au bois plus marquée encore sur les PM1 que sur les PM2.5 et les PM10.

Les boxplots des concentrations en PM1, pour des DJU plus élevés que 13 sont présentés ci-dessous :

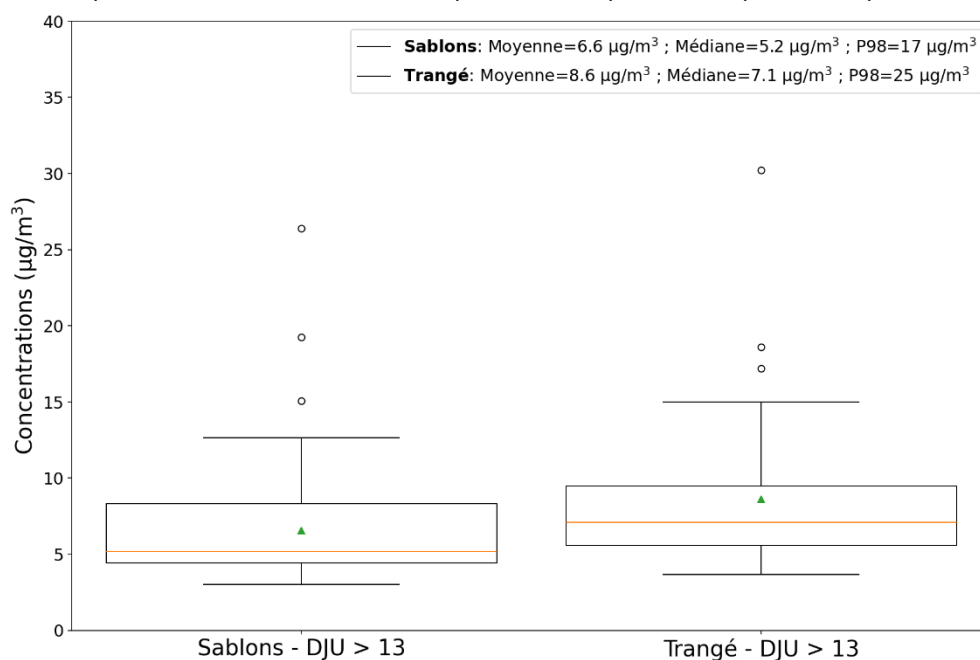


Figure 23 : boxplots des concentrations horaires en particules PM1 pour des DJU supérieures à 13

La moyenne des concentrations sur le site de Trangé est supérieure de 30 % à celle des Sablons lors des 3 jours où les DJU étaient supérieures à 13. La même constatation est faite sur la médiane et sur le percentile 98, avec des différences respectivement de 37 % et 41 % plus élevées.

Afin de caractériser la composition des particules PM2.5, les rapports des concentrations PM1/PM2.5 ont été calculés. Un rapport de 1 signifie que les diamètres des particules PM2.5 sont inférieurs à 1 µm, tandis qu'un rapport de 0 indique que l'ensemble des particules PM2.5 se trouvent entre 1 µm et 2,5 µm. En d'autres termes, un rapport de 1 indique que les PM2.5 sont exclusivement composées de PM1, et un rapport de 0 veut dire que les PM2.5 ne contiennent pas de PM1.

La figure suivante présente le profil journalier de ces rapports sur les deux sites de mesure :

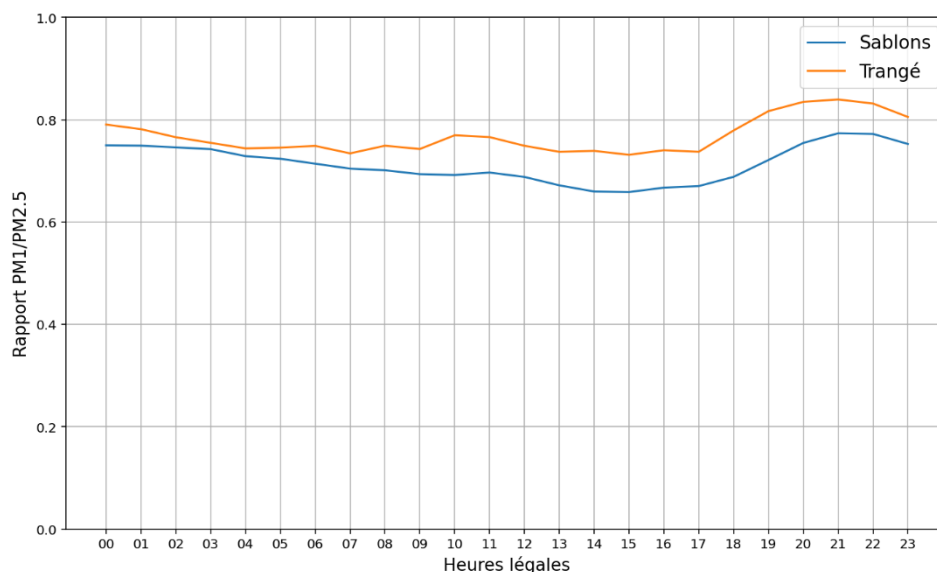


Figure 24 : profil journalier des rapports PM1/PM2.5

Les résultats indiquent une proportion de PM1 au sein des PM2.5 plus élevée le soir sur les deux sites par rapport au reste de la journée. Des proportions de PM1 au sein des PM2.5 plus élevées sont remarquées sur le site de Trangé, avec près de 93 % des PM2.5 qui sont composées de PM1 lors du maximum en soirée.

Particules ultrafines (PUF)

Les particules ultrafines (PUF) sont des particules de diamètre inférieur à 100 nm. Elles constituent une pollution dite émergente puisque la surveillance de ces particules est récente et qu'il n'existe pas encore de réglementation dans l'air ambiant à leur sujet. Compte tenu de leurs enjeux en termes d'impacts sanitaires, l'ANSES a indiqué la nécessité de compléter et de pérenniser l'acquisition des données de mesure des particules ultrafines et d'assurer un suivi de ce polluant sur le long terme.

Ces particules ont la particularité de ne représenter que quelques pourcents de la masse totale des particules (~5 %) mais sont responsables de la majorité du nombre des particules (~90 %). De ce fait, la caractérisation de ce polluant est faite par comptage. Elles sont donc exprimées en nombre de particules par centimètres cube ($\#/cm^3$). Le matériel de mesure déployé lors de la campagne permet par ailleurs de distinguer la taille des particules lors du comptage, sur 124 canaux allant de 5 nm à 430 nm, toutes les 5 minutes.

S'il n'y a pas, à ce jour, de réglementation à leur sujet, l'OMS considère néanmoins qu'une moyenne journalière de plus de 10 000 $\#/cm^3$, et qu'une moyenne horaire de plus de 20 000 $\#/cm^3$ sont des valeurs considérées comme étant élevées.

La figure ci-dessous présente l'évolution temporelle des concentrations horaires en PUF au cours de la campagne :

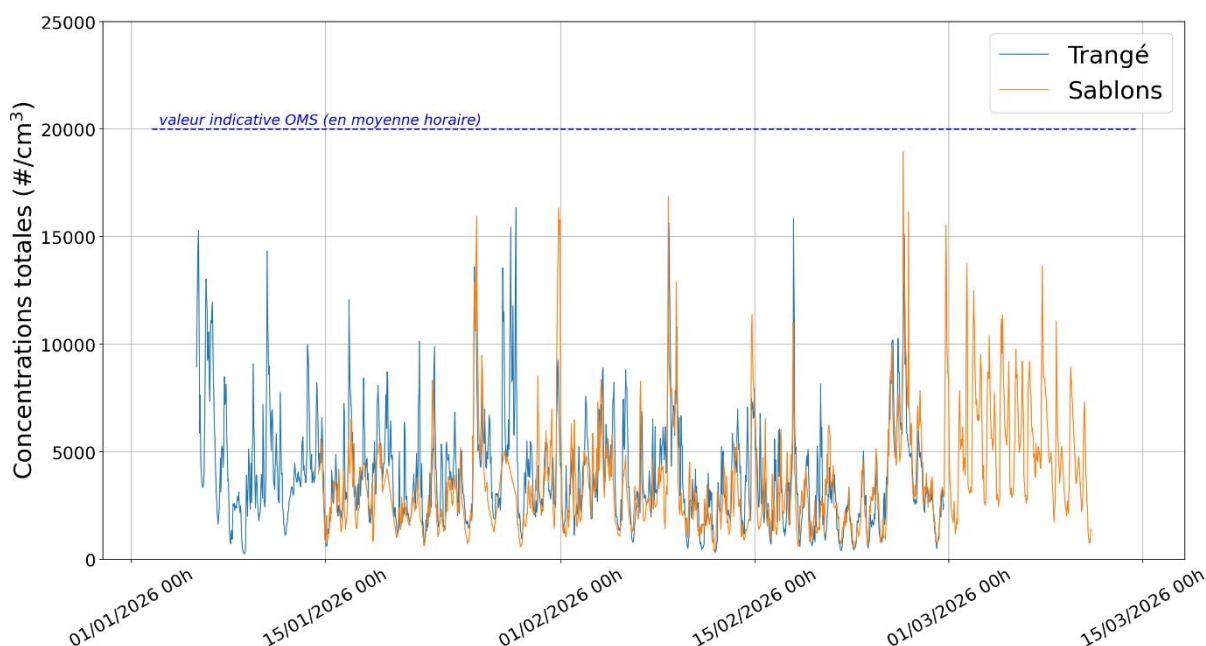


Figure 25 : évolution des concentrations horaires en particules ultrafines du 05/01/2026 au 11/03/2026

Les résultats indiquent qu'aucune moyenne horaire n'a dépassé les 20 000 $\#/cm^3$ au cours de la campagne. Les concentrations les plus élevées relevées sur le site de Trangé, ont été mesurées début de période, entre 5 et le 7 janvier, ainsi que fin janvier. Ces périodes coïncident avec les DJU les plus élevées. Sur le site des Sablons, les niveaux les plus élevés ont été mesurés en fin de période, à partir de début mars.

Afin de pouvoir comparer strictement les niveaux mesurés sur les deux sites, les figures suivantes vont se baser sur les mesures réalisées simultanément. Néanmoins, étant donné que la période de mesures commune aux deux sites n'a pas comporté de conditions météorologiques particulièrement rudes, une comparaison spécifique sur le site de Trangé sera menée dans un second temps, comprenant la période la plus froide de la campagne de mesure, avec des DJU supérieurs à 20.

La figure ci-dessous présente, sous forme d'un boxplot la répartition statistique des mesures sur les deux sites de mesure au cours de la campagne.

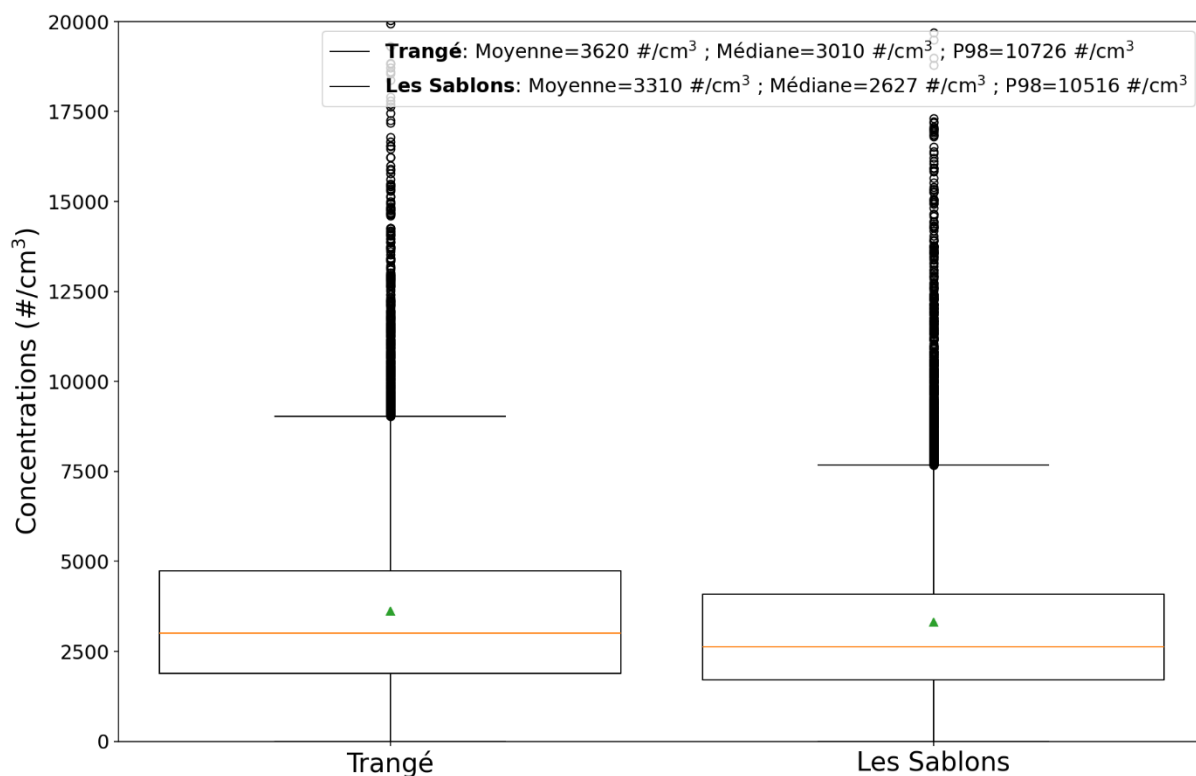


Figure 26 : boxplots des concentrations 5 minutes en particules ultrafines mesurées lors de la période commune aux deux sites

La figure ci-dessus indique des niveaux moyens et médians plus élevés sur le site de Trangé qu'aux Sablons, de l'ordre de, respectivement 9 % et 15 % lors des mesures simultanées.

Afin de caractériser ces mesures, des distributions granulométriques ont été calculées. Il s'agit des concentrations moyennes mesurées sur chaque diamètre de particules mesurées :

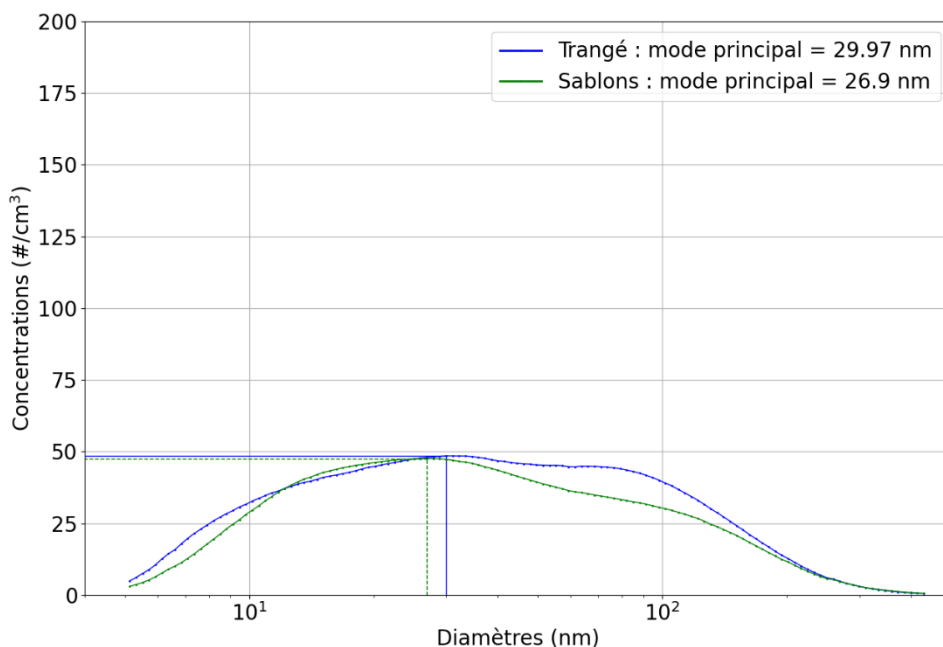
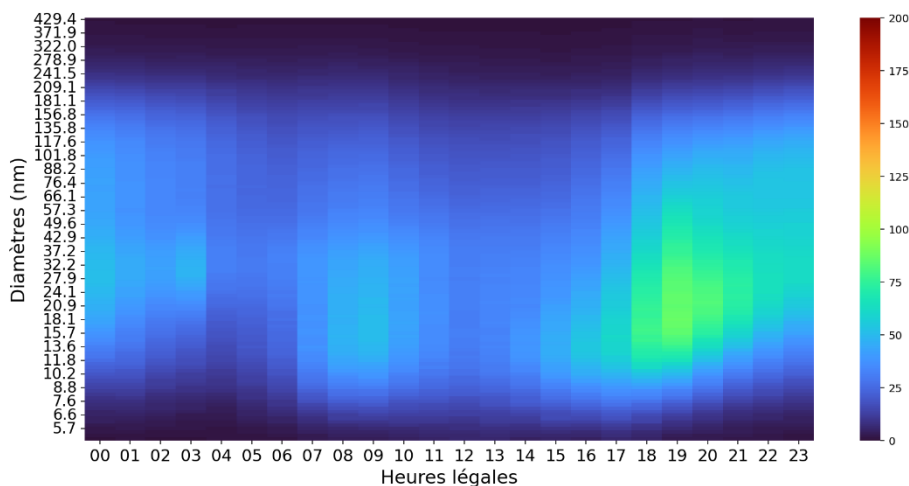


Figure 27 : distributions granulométriques des mesures simultanées des deux sites du 05/01/2026 au 11/03/2026

Les distributions granulométriques moyennes indiquent un mode principal commun autour des 30 nm. Un mode secondaire se dégage notamment sur le site de Trangé, autour des 80 nm.

Des profils journaliers ont été tracés afin de mieux appréhender la dynamique des concentrations des particules ultrafines au sein de la journée, selon les diamètres :

Profil journalier des concentrations aux Sablons,
du 15/01/2026 au 28/02/2026, $[C_{max}] = 87 \text{ \#/cm}^3$



Profil journalier des concentrations à Trangé,
du 15/01/2026 au 28/02/2026, $[C_{max}] = 83 \text{ \#/cm}^3$

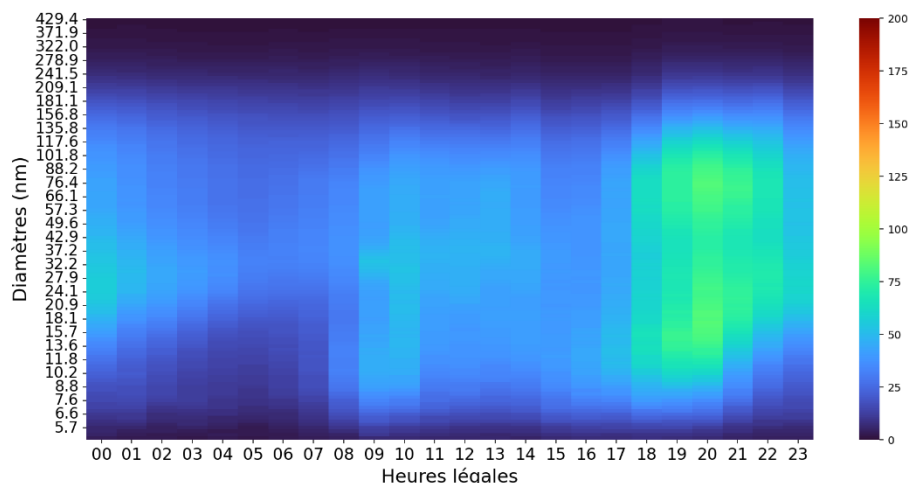


Figure 28 : profils journaliers des concentrations en particules ultrafines sur le site de référence des Sablons (en haut) et exposé au chauffage individuel au bois (en bas)

Les profils montrent que les niveaux augmentent en soirée simultanément sur les deux sites.

Sur le site des Sablons, les diamètres impactés sont essentiellement entre 15 et 40 nm, entre 18h et 21h. Sur le site de Trangé, la même gamme de diamètres (15-40 nm) est également impactée entre 18h et 21h. Cet impact est attribué au trafic routier. Une seconde élévation des concentrations est relevée sur le site de Trangé, pour des diamètres supérieurs, approximativement entre 50 et 150 nm, avec un maximum autour des 80 nm. Cet impact est mesuré entre 18h et 22h et est attribué au chauffage résidentiel au bois⁴.

⁴ [Airparif \(2022\) : campagne de mesure francilienne sur les particules ultrafines : situation de fond hivers 2020-2021](#)

Afin de mettre en lumière l'influence du chauffage résidentiel au bois, des boxplots ont été tracés par DJU les plus élevés, traduisant un recours au chauffage et par DJU plus faibles, traduisant un faible recours au chauffage :

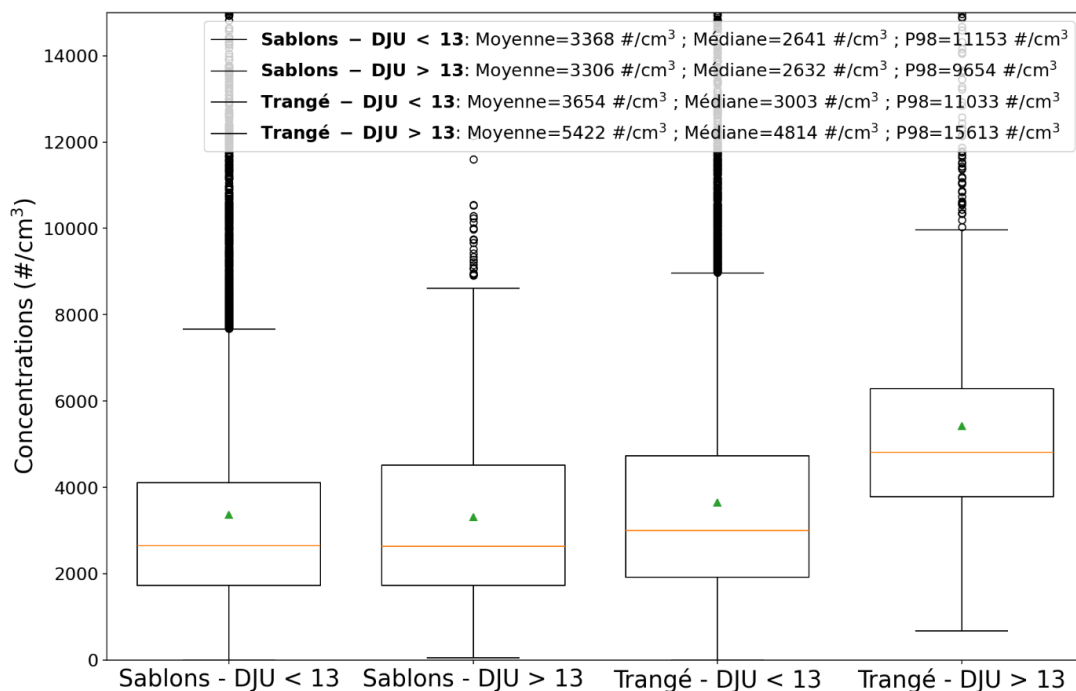


Figure 29 : boxplots des concentrations 5 minutes en particules ultrafines par période de recours au chauffage (DJU>13) et de faible recours au chauffage (DJU<13), lors des mesures simultanées

Sur le site des Sablons, aucune différence significative n'est relevée sur les concentrations en particules ultrafines entre les périodes de recours et de faible recours au chauffage. Cela s'explique par l'absence de moyens de chauffage résidentiel individuel, notamment au bois. Les moyens de chauffage sont essentiellement au gaz dans le quartier des Sablons.

Sur le site de Trangé, où les équipements de chauffage individuel au bois sont nombreux, les niveaux mesurés sont sensiblement plus élevés sur la période de recours au chauffage. En effet, les niveaux moyens et médians sont respectivement 48 % et 60 % plus élevés.

Des différences plus modérées sont observées par faible recours au chauffage entre le site de Trangé et des Sablons, avec des niveaux moyens 8,5 %, et médians 14 % plus élevés à Trangé qu'aux Sablons.

Afin de mieux appréhender l'influence du recours au chauffage sur les niveaux de particules ultrafines, le site de Trangé sera considéré dans la suite. L'étude de ce site permet de considérer la période de mesures de début janvier, où les DJU ont dépassé les 20, traduisant une période particulièrement froide, avec un recours au chauffage intense. Pour ce faire, les distributions granulométriques par classe de DJU ont été tracés dans la suite :

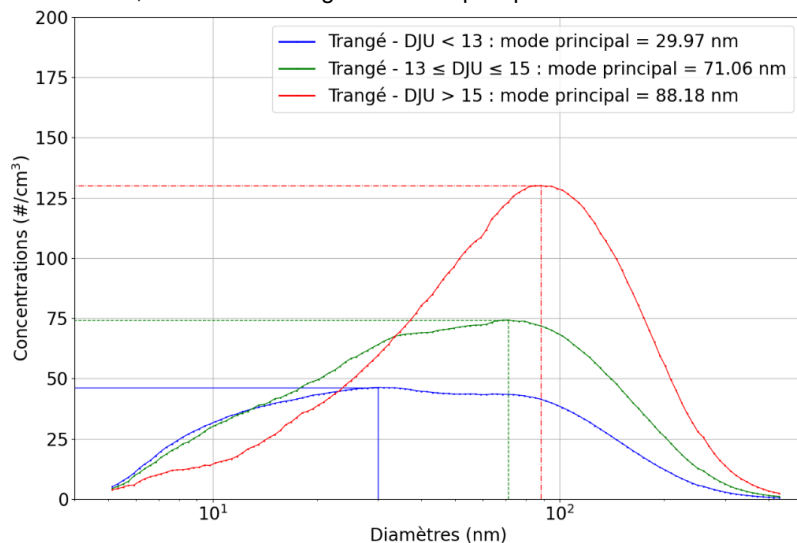


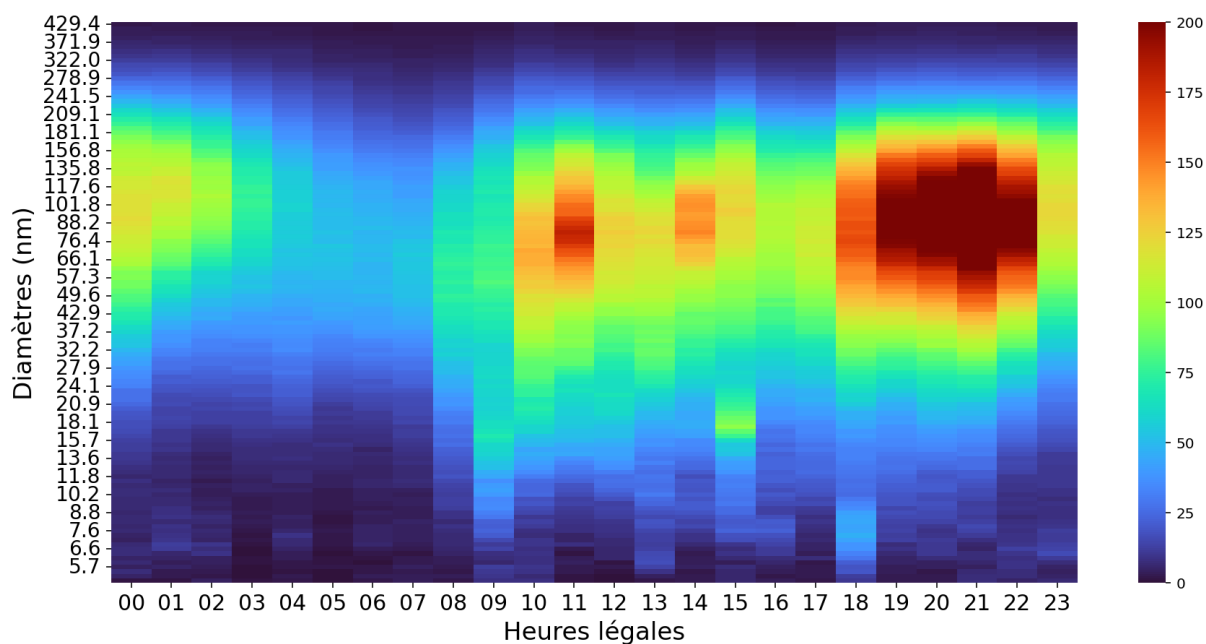
Figure 30 : distributions granulométriques par classe de DJU à Trangé

L'augmentation des DJU fait apparaître un mode dans la distribution granulométrique de plus en plus marqué. Les modes, centrés autour des 70 à 90 nm, sont attribués au chauffage résidentiel, notamment au bois⁵.

⁵ Gu, J., Pitz, M., Schnelle-Kreis, J., Diemer, J., Reller, A., Zimmermann, R., ... & Cyrys, J. (2011). Source apportionment of ambient particles: comparison of positive matrix factorization analysis applied to particle size distribution and chemical composition data. *Atmospheric Environment*, 45(10), 1849-1857

La dynamique journalière des concentrations mesurées à Trangé, lors des DJU supérieurs à 15 est caractérisée par le profil suivant :

Profil journalier des concentrations à Trangé,
du 05/01/2026 au 08/01/2026, $[C_{max}] = 257 \text{ \#}/\text{cm}^3$, DJU > 15



Ce profil montre des concentrations élevées dès 10h, jusqu'à 2h du matin, avec un pic en soirée entre 18h et 22h. Ces niveaux élevés sont retrouvés pour des diamètres compris approximativement entre 50 nm et 200 nm, avec un maximum autour de 90 nm.

Carbone suie

Des mesures de carbone suie ont été réalisées en complément des autres polluants mesurés. Le carbone suie est un type de particules faisant partie de la fraction des PM_{2.5}, et est formé par la combustion incomplète d'hydrocarbures fossiles ou de biomasse. La mesure du carbone suie permet d'estimer la **contribution de la combustion de biomasse** de celle de la **combustion d'hydrocarbures fossiles**, au sein des particules de carbone suie.

Les profils journaliers des concentrations en carbone suie liées à la combustion de biomasse sont présentés ci-dessous :

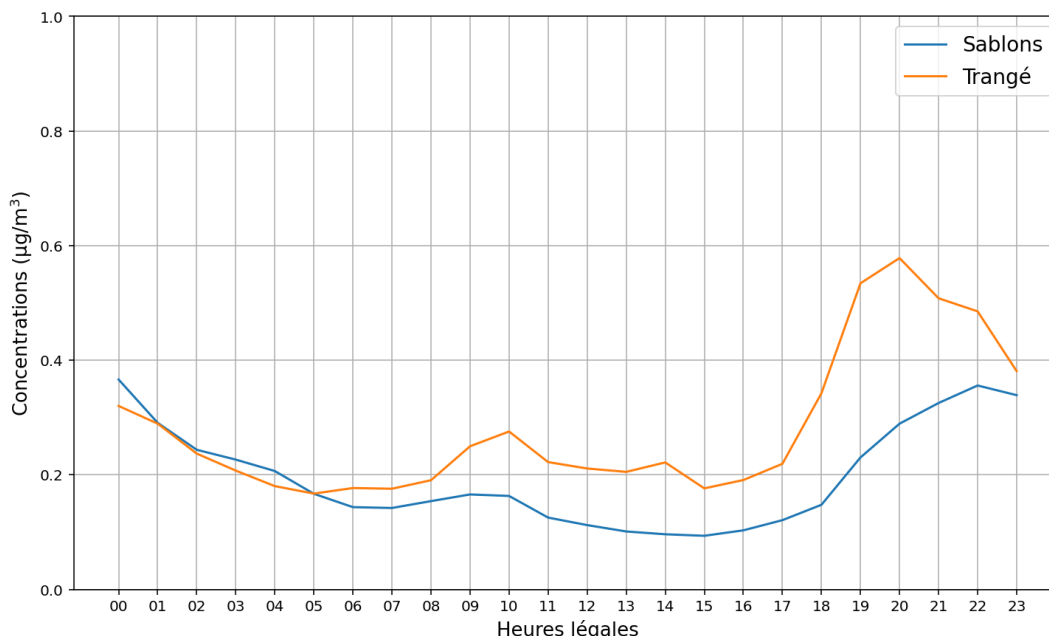


Figure 32 : profil journalier des concentrations en carbone suie liées à la combustion de biomasse

La figure 32 indique un maximum des concentrations à 20h sur le site de Trangé, tandis que le site des Sablons atteint son maximum à 22h.

La même figure peut être tracée à partir des concentrations de carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures fossiles :

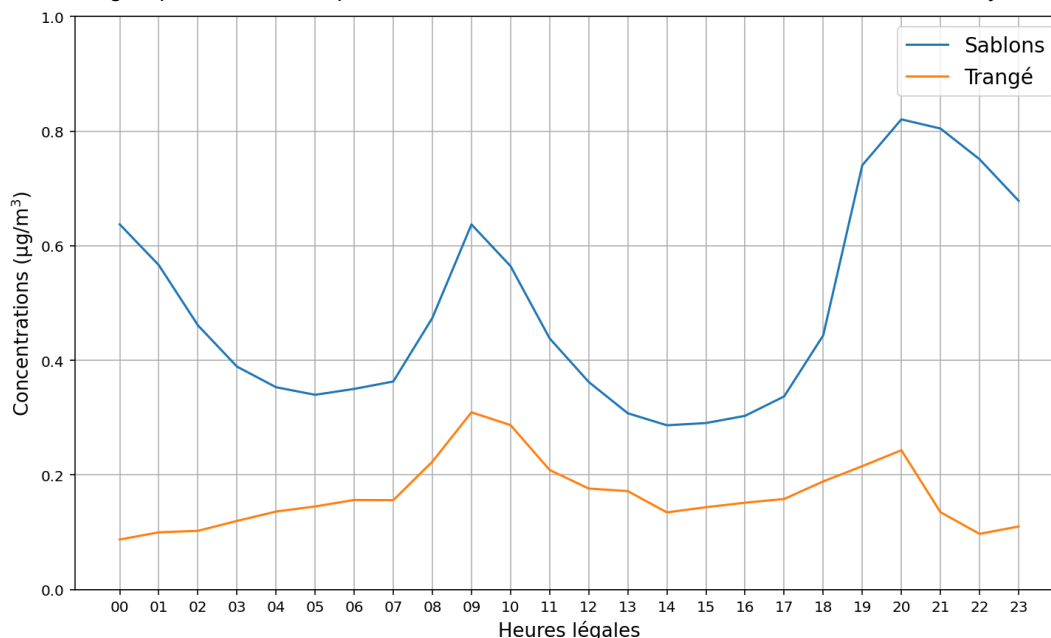


Figure 33 : profil journalier des concentrations en carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures fossiles

Deux élévations sont retrouvées dans la journée sur les deux sites. Une première élévation autour de 9h du matin, et une seconde le soir, avec un maximum à 20h. Ces deux élévations sont attribuées au trajet domicile-travail, compte tenu de l'heure de survenue, couplée aux variations de hauteur de couche limite.

Les niveaux mesurés sont sensiblement plus élevés sur le site des Sablons (d'un facteur allant de 1,8 à 7,7 selon l'heure), en lien avec une exposition au trafic routier plus élevée. Ainsi, les concentrations en carbone suie sur le site des Sablons sont principalement liées à de la combustion d'hydrocarbures fossiles.

Sur le site de Trangé, les niveaux sont plus élevés le matin que le soir, où les concentrations en carbone suie liées à la combustion d'hydrocarbures fossiles diminuent rapidement après 20h.

Les concentrations en carbone suie sur le site de Trangé sont ainsi principalement causées par la combustion de biomasse.

Afin d'illustrer cette observation, les profils journaliers des concentrations en particules PM10, PM2.5, PM1 (axe des ordonnées gauche), carbone suie (axe des ordonnées droit) et PUF sont tracés pour les trois journées de recours plus intenses au chauffage (DJU>13) :

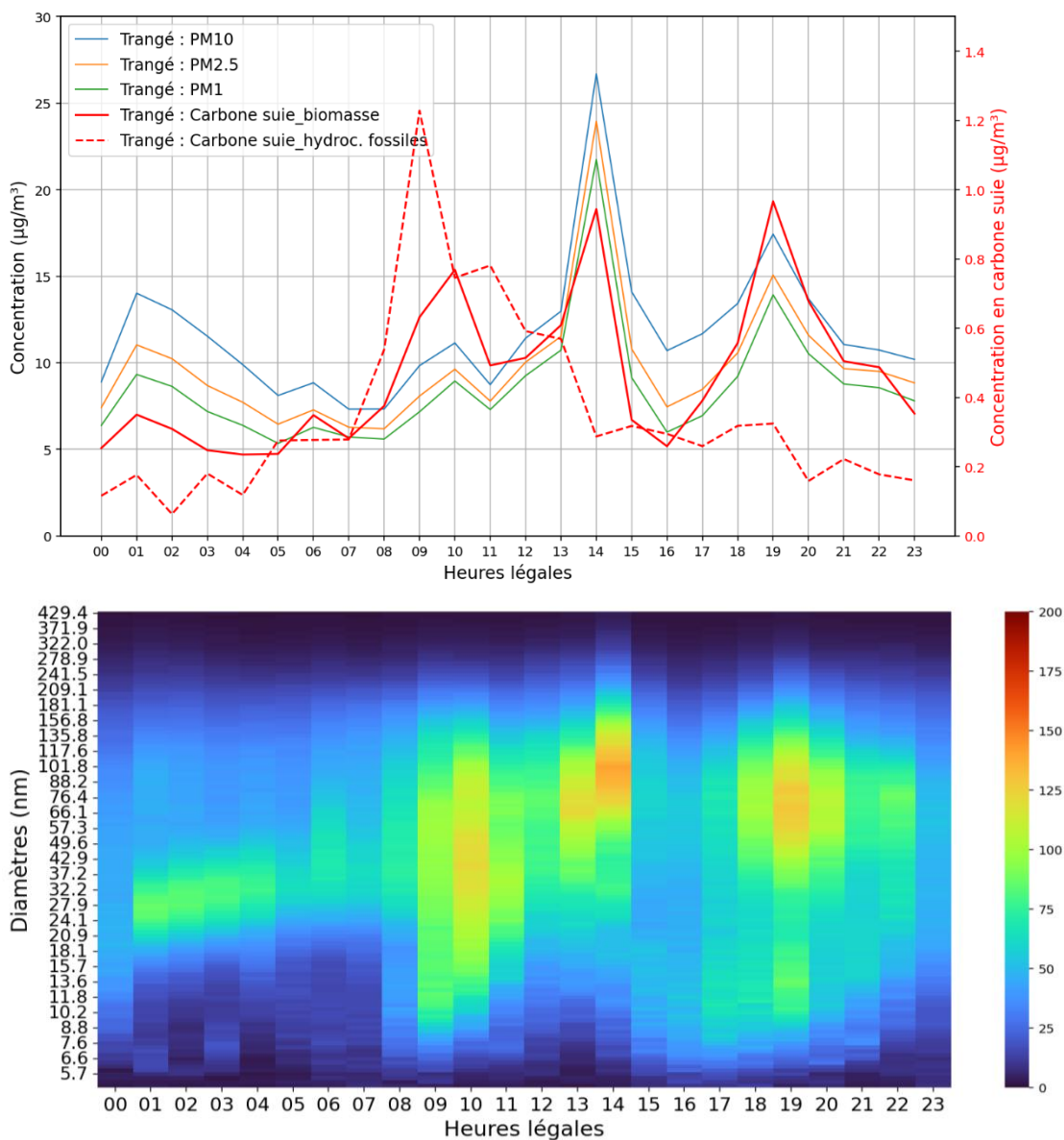


Figure 34 : profils journaliers des concentrations en particules PM10, PM2.5, PM1 et carbone suie (en haut) et en particules ultrafines (en bas) sur le site de Trangé lors des journées de recours au chauffage résidentiel (DJU > 13)

Ces résultats montrent :

- Une corrélation entre niveaux de carbone suie issu de la combustion de biomasse, et concentrations en particules PM10, PM2.5 et PM1, ainsi que particules ultrafines pour les diamètres compris autour des 80 à 90 nm.
- Une corrélation entre niveaux de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles et particules ultrafines pour des diamètres inférieurs à 40 nm.

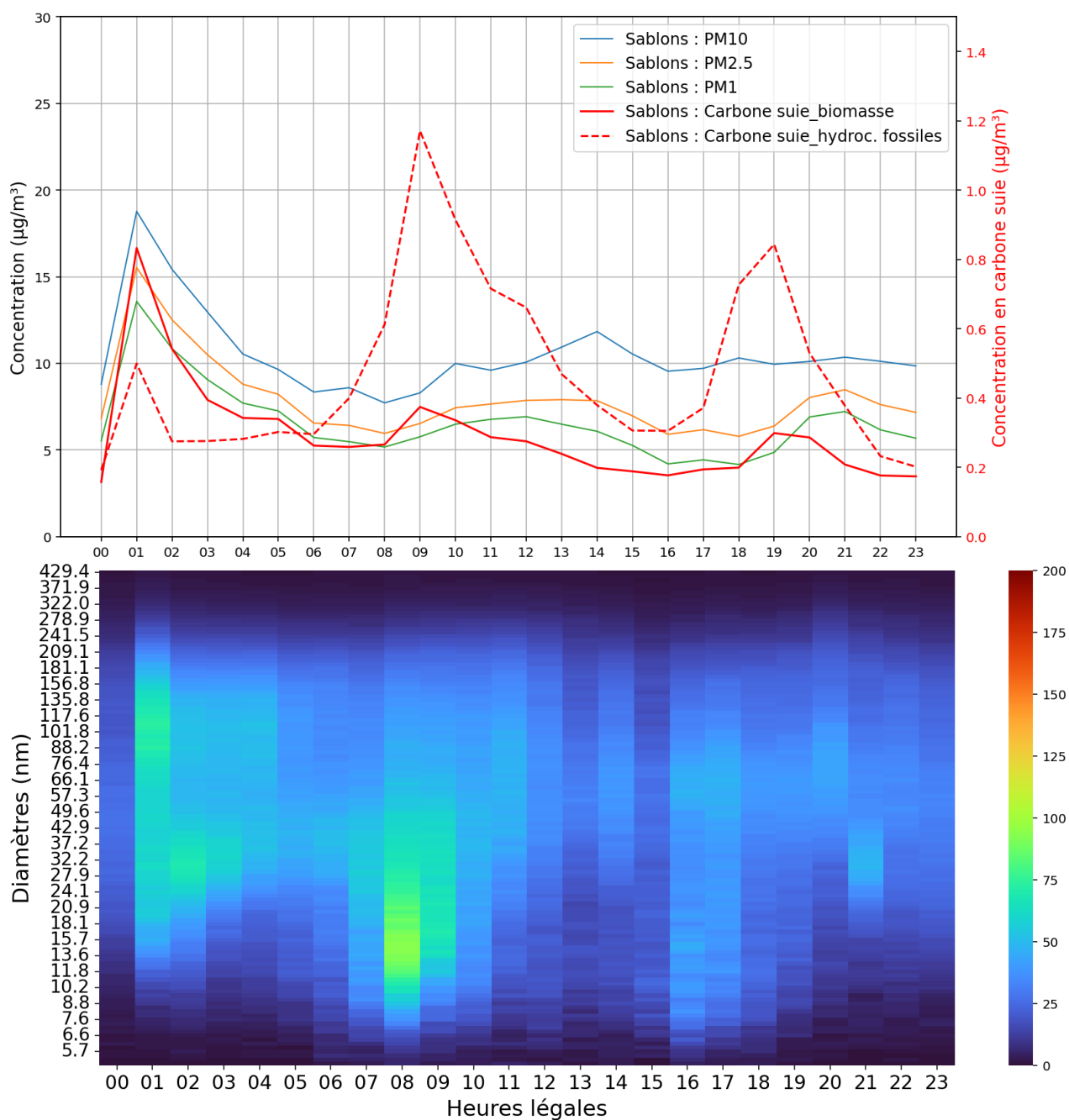


Figure 35 : profils journaliers des concentrations en particules PM10, PM2.5, PM1 et carbone suie (en haut) et en particules ultrafines (en bas) sur le site des Sablons lors des journées de recours au chauffage résidentiel (DJU > 13)

Ces résultats montrent :

- Une absence de corrélation entre niveaux de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles, et concentrations en particules PM10, PM2.5 et PM1.
- Une corrélation entre niveaux de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles et particules ultrafines pour des diamètres inférieurs à 40 nm, notamment entre 8h et 9h, lors du pic de trafic du matin.
- Une corrélation entre niveaux de carbone suie issu de la combustion de biomasse, et concentrations en particules PM10, PM2.5 et PM1, ainsi que particules ultrafines pour les diamètres compris entre 50 et 200 nm, notamment à 1h du matin.

Ces résultats confirment l'influence de la combustion de biomasse, en particulier le recours au chauffage individuel au bois sur les niveaux des particules (PM10, PM2.5, PM1) et particules ultrafines (entre 50 et 200 nm) mesurés essentiellement en soirée sur le site de Trangé.

Conclusions et perspectives

Un cadastre des émissions de particules PM2.5 issues du bois-résidentiel a permis d'identifier deux sites de mesure. L'un particulièrement influencé par le chauffage résidentiel au bois : le site périurbain de Trangé. Un second site, peu influencé par les émissions du bois-résidentiel, et considéré comme référence : le site urbain des Sablons.

Le suivi simultané des concentrations en PM10, PM2.5, PM1, carbone suie et particules ultrafines sur les sites de Trangé et des Sablons, réalisé entre le 15/01/2026 et le 03/03/2026 a montré :

- Des niveaux en PM10 moyens et médians approximativement 10 % plus élevés à Trangé, sur l'ensemble de la période, et en particulier en soirée avec des niveaux moyens 26 % plus élevés entre 18h et minuit, et un maximum de +42 % à 19h.
- Des niveaux en PM2.5 moyens et médians approximativement 20 % plus élevés à Trangé, sur l'ensemble de la période, et en particulier en soirée avec des niveaux moyens 46 % plus élevés entre 18h et minuit, et un maximum de +77 % à 19h.
- Des niveaux en PM1 moyens et médians approximativement 30 % plus élevés à Trangé, sur l'ensemble de la période, et en particulier en soirée avec des niveaux moyens 63 % plus élevés entre 18h et minuit, et un maximum de +110 % à 19h.

En particulier sur les journées les plus froides, où le recours au chauffage a été plus fort, il a été constaté :

- Des niveaux moyens de PM10, 20 % plus élevés sur le site de Trangé par rapport aux Sablons, des niveaux médians similaires, et des niveaux de pointe (percentile 98) 50 % plus élevés.
- Des niveaux moyens de PM2.5, 24 % plus élevés sur le site de Trangé par rapport aux Sablons, des niveaux médians 14 % plus élevés, et des niveaux de pointe (percentile 98) 42 % plus élevés.
- Des niveaux moyens de PM1, 30 % plus élevés sur le site de Trangé par rapport aux Sablons, des niveaux médians 37 % plus élevés, et des niveaux de pointe (percentile 98) 41 % plus élevés.
- Des concentrations moyennes et médianes en particules ultrafines près de respectivement 50 % et 60 % plus élevées sur le site de Trangé par rapport au site des Sablons.
- Une élévation des concentrations en particules ultrafines entre 50 nm et 200 nm, et un nombre le plus élevé près des 90 nm lors des journées les plus froides.
- Une corrélation entre concentrations en carbone suie issu de la combustion de biomasse et concentrations en PM10, PM2.5, PM1 et particules ultrafines entre approximativement 50 et 200 nm.
- Une corrélation entre carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles et concentrations en particules ultrafines de diamètres inférieurs à approximativement 40 nm.
- Une absence de corrélation entre concentrations de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles et concentrations en PM10, PM2.5 et PM1.

Finalement, l'ensemble de ces résultats confirme l'influence de la combustion de biomasse, et en particulier du chauffage individuel au bois sur les concentrations atmosphériques en particules PM10, PM2.5, PM1, carbone suie et particules ultrafines (comprises entre 50 et 200 nm, avec un maximum autour des 90 nm). Ces observations sont cohérentes avec celles rapportées dans des études similaires menées notamment en Île-de-France et en Allemagne.

Cette influence se traduit par une augmentation des concentrations en particules, notamment en soirée, à des niveaux significativement plus élevés sur le site périurbain de Trangé que sur le site urbain des Sablons, malgré des conditions météorologiques peu favorables au recours au chauffage (températures particulièrement douces pour la saison) et favorables au lessivage des particules (pluviométrie particulièrement élevée en février).

Annexes

- Annexe 1 : Air Pays de la Loire
- Annexe 2 : types des sites de mesure
- Annexe 3 : polluants
- Annexe 4 : effets des polluants atmosphériques sur la santé

Annexe 1 : 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.

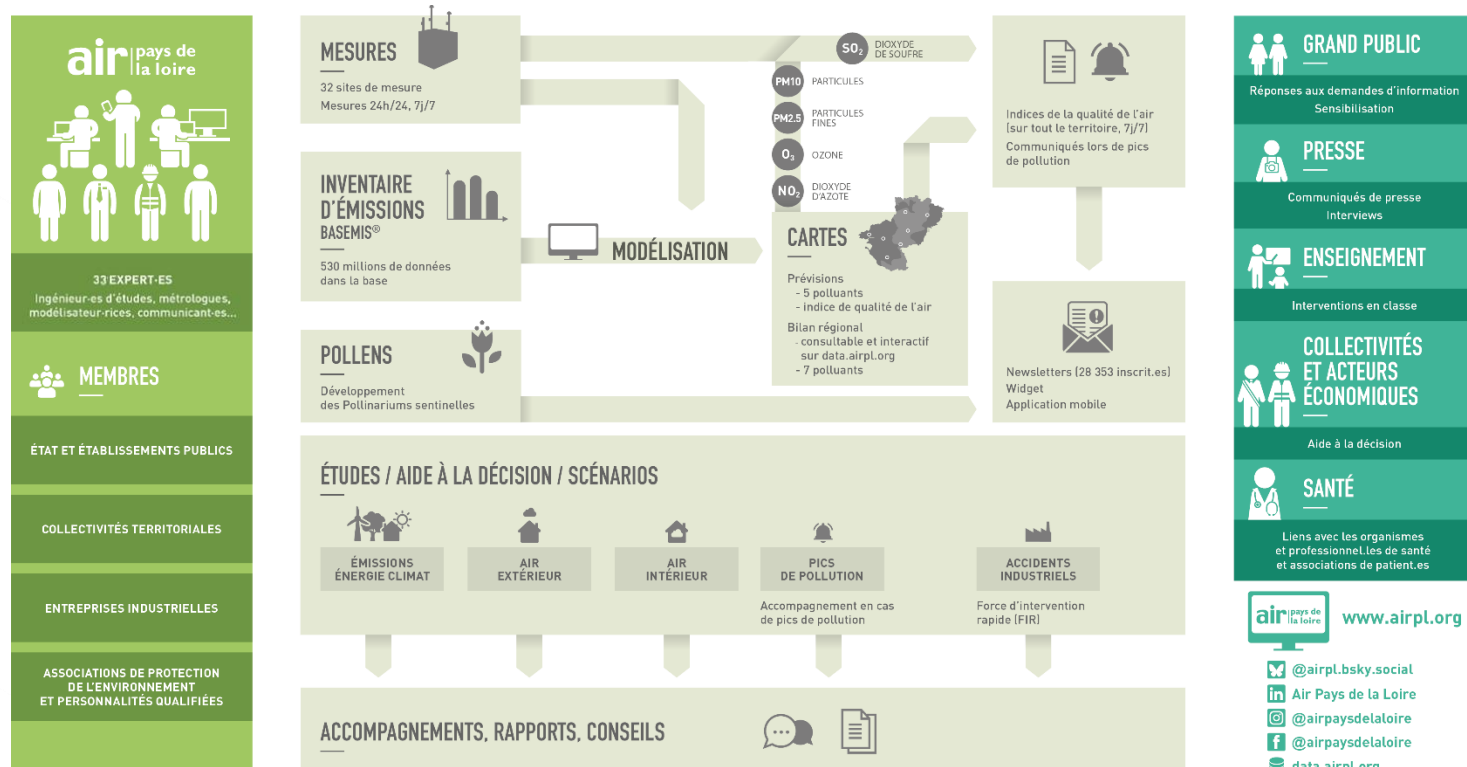
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

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



Annexe 2 : 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.

Annexe 3 : polluants

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...).

Annexe 4 : effets des polluants atmosphériques sur la santé

La qualité de l'air représente un enjeu sanitaire majeur. En effet, il s'agit du deuxième facteur de risque de maladies non transmissibles dans le monde selon l'OMS [1]. Selon **Santé publique France**, environ **40 000 décès sont attribuables** chaque année à une exposition chronique aux particules fines (PM_{2,5}), et 7 000 décès sont liés à une exposition au dioxyde d'azote ; ce qui représente respectivement 7 % et 1 % de la mortalité totale annuelle française [2]. Une autre étude de **Santé publique France**, parue en janvier 2025, a montré qu'en Pays de la Loire, chaque année, il serait possible d'éviter jusqu'à 1 400 nouveaux cas de maladies respiratoires chez l'enfant et jusqu'à 2 600 nouveaux cas de maladies cardiovasculaires, métaboliques et respiratoires chez l'adulte si les niveaux de pollution de l'air respectaient les valeurs guides de l'OMS [3].

Qu'est-ce qu'un polluant ?

Les polluants sont des molécules présentes dans l'air qui peuvent représenter un danger pour la santé humaine et l'environnement. Ce « danger », c'est-à-dire la capacité qu'à la molécule à provoquer un dommage, dépend de ses propriétés physico-chimiques (charge, solubilité, taille...).

Parmi les polluants surveillés dans l'air, on retrouve :

- **Les particules fines (PM_{2,5} et PM₁₀)** : elles sont capables de pénétrer profondément dans les poumons, voire d'atteindre la circulation sanguine (pour les particules ultrafines). Elles peuvent entraîner des inflammations chroniques, provoquant des maladies cardiovasculaires, des cancers et des troubles respiratoires.
- **Le dioxyde d'azote (NO₂)** : l'inhalation régulière de NO₂ peut aggraver les maladies respiratoires, telles que l'asthme, et rendre les individus plus vulnérables aux infections respiratoires.
- **L'ozone troposphérique (O₃)** : c'est un oxydant puissant qui irrite les voies respiratoires et réduit la capacité pulmonaire, présent surtout en période estivale.
- **Le monoxyde de carbone (CO)** : il réduit la capacité du sang à transporter l'oxygène. Une exposition aiguë peut entraîner des symptômes graves, allant de maux de tête à la perte de conscience, voire la mort.
- **Le dioxyde de soufre (SO₂)** : il irrite les muqueuses respiratoires.
- **Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** : famille de plusieurs centaines de composés, certains sont reconnus comme cancérogènes, d'autres sont suspectés d'avoir des effets toxiques variés, notamment comme perturbateurs endocriniens.
- **Les Composés organiques volatils (COV)** : large famille de substances (formaldéhyde, toluène...), certains ont des effets irritants ou neurotoxiques, et plusieurs sont suspectés ou reconnus comme cancérogènes.
- **Le benzène** : de la famille des COV, c'est un cancérogène avéré pour l'homme lors d'une exposition prolongée, il affecte la moelle osseuse et peut entraîner des leucémies.

D'autres polluants, dont certains ne sont pas réglementés dans l'air (pesticides...), ont des effets sur la santé. Les polluants atmosphériques sont susceptibles d'interagir entre eux, augmentant potentiellement leur toxicité. Par exemple, les particules fines peuvent transporter des métaux lourds ou des hydrocarbures.

Exposition aux polluants atmosphériques

Les polluants, bien que présentant une propriété intrinsèque de toxicité spécifique à la molécule considérée, doivent entrer en contact avec un organisme pour provoquer des dommages. Cette notion d'**exposition** est essentielle, elle désigne le contact direct ou indirect entre un individu et un polluant. L'exposition à la pollution peut être aiguë ou chronique :

1. **Exposition aiguë** : une exposition brève à des concentrations élevées de polluants peut entraîner des effets immédiats, tels que des irritations des voies respiratoires, des crises d'asthme ou des maux de tête.
2. **Exposition chronique** : une exposition prolongée à de faibles niveaux de pollution, cumulée sur plusieurs années, peut entraîner des maladies cardiovasculaires, des cancers, des troubles respiratoires chroniques (BPCO...) et d'autres pathologies graves.

Pourquoi certaines populations sont-elles plus vulnérables ?

Certaines personnes présentent une plus grande susceptibilité aux effets délétères de la pollution atmosphérique. Ces individus font partie des **populations vulnérables**, ce sont notamment les **enfants**, les **personnes âgées** et celles souffrant de **maladies chroniques**.

- **Les enfants** sont particulièrement sensibles en raison de systèmes de défense et de détoxification encore en développement. Leur respiration plus rapide les expose davantage aux polluants présents dans l'air. Selon l'Organisation mondiale de la santé, l'exposition à long terme aux polluants peut entraîner des retards dans le développement pulmonaire, un risque accru d'asthme et d'infections pulmonaires [4].
- **Les personnes âgées** ont des systèmes immunitaires affaiblis, et leurs organes respiratoires sont souvent déjà fragilisés par des pathologies chroniques (BPCO, insuffisance cardiaque, diabète). Cela les rend plus vulnérables aux effets de la pollution, qui peut aggraver leur condition et mener à des complications graves comme des infarctus ou des accidents vasculaires cérébraux.
- **Les individus atteints de maladies chroniques**, telles que l'asthme ou les maladies cardiovasculaires, sont également plus exposés. Les polluants exacerbent leurs symptômes, et l'inflammation systémique déjà présente dans leur organisme est amplifiée, augmentant les risques d'hospitalisation et de complications.

Des améliorations, mais des efforts à poursuivre

La qualité de l'air est réglementée en Europe, des seuils de concentrations atmosphériques pour certains polluants existent depuis plus de 20 ans. De nombreuses politiques publiques de réduction des émissions et des évolutions technologiques ont été mises en place depuis lors. Ces efforts ont porté leur fruit car l'**Agence européenne pour l'environnement** estime qu'entre 2005 et 2022, l'amélioration de la qualité de l'air en France a permis d'éviter **53 % des décès** liés à cette pollution [5].

Cependant, malgré ces progrès, des efforts supplémentaires sont nécessaires. En effet, les seuils réglementaires européens restent supérieurs aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé. Ces dernières, révisées en 2021, fixent des objectifs plus stricts, alignés sur les dernières connaissances scientifiques concernant l'impact de certains polluants sur la santé humaine. On considère aujourd'hui que plus de 95% de la population des agglomérations françaises est exposée à des seuils de particules fines et d'ozone dépassant les nouvelles valeurs guides de l'OMS [6].

Références

- [1] [Organisation Mondiale de la Santé, «Qualité de l'air ambiant et santé.» \[En ligne\]](#)
- [2] [Santé Publique France, «Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019.» \[En ligne\]](#)
- [3] [Santé Publique France, «Estimation des bénéfices potentiels pour la santé d'une amélioration de la qualité de l'air ambiant en Pays de la Loire.» 2025. \[En ligne\]](#)
- [4] [Organisation Mondiale de la Santé, «Les nouvelles lignes directrices mondiales de l'OMS sur la qualité de l'air visent à éviter des millions de décès dus à la pollution atmosphérique.» WHO, \[En ligne\]](#)
- [5] [European Environment Agency, «Faits saillants sur la pollution de l'air par pays.» \[En ligne\]](#)
- [6] [Commissariat général au développement durable \(CGDD\), «Qualité de l'air : combien d'agglomérations ont dépassé les seuils en 2022 ?..» \[En ligne\]](#)
- [7] [Santé Publique France, «Pollution atmosphérique : quels sont les risques ?..» Santé Publique France, \[En ligne\]](#)



AIR PAYS DE LA LOIRE

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

air | pays de
la Loire
www.airpl.org