



Suivi du carbone suie à Rennes

Bilan des mesures de carbone suie en 2024

Version du 01/08/2025

Avertissements

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments à un instant et un lieu donné, caractérisé par des conditions climatiques propres.

Air Breizh ne saurait être tenu pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations faites par un tiers.

Conditions de diffusions

Air Breizh est l'organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air dans la région Bretagne, au titre de l'article L221-3 du Code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 13 juin 2022 pris par le ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Breizh est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Breizh réserve un droit d'accès au public à l'ensemble des résultats de mesures et rapports d'études selon plusieurs modalités : document papier, mise en ligne sur son site internet www.airbreizh.asso.fr, résumé dans ses publications, ...

Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Air Breizh.

Air Breizh ne peut, en aucune façon, être tenu responsable des interprétations et travaux utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Breizh n'aura pas donné d'accord préalable.

Organisation interne – contrôle qualité

Projet : Mesure du carbone suie à Rennes

Version - date	Modifications	Auteur	Validation
Version du 01/08/2025	Création du document	R. Falhun (Ingénieure d'études)	O. Cesbron (Chef de projet études) G. Lefeuvre (Directeur d'Air Breizh)

SOMMAIRE

I.	Contexte	4
II.	Matériel et méthode de mesure	5
II1.	Mesure du carbone suie	5
II2.	Méthodologie pour l'estimation de la contribution de la combustion de biomasse et d'hydrocarbures dans les PM10.....	5
III.	Sites de mesure	7
III1.	Station Thabor.....	7
III1.	Station Laënnec.....	8
III2.	Bilan des mesures de particules à Rennes en 2024	9
IV.	Conditions météorologiques	10
IV1.	Direction et vitesse de vent	10
IV2.	Pluviométrie et température	11
V.	Résultats	13
V1.	Taux de couverture	13
V2.	Station Thabor.....	13
a)	Résultats globaux 2024.....	13
b)	Variation pluriannuelle	14
c)	Evolution journalière des concentrations en carbone suie	15
V3.	Station Laënnec.....	16
V4.	Comparaison de la variation journalière du BC pour différentes influences.....	17
VI.	Conclusion	18
	Références.....	20
VII.	Annexes	20
VII1.	Estimation du Brown Carbon	20
VII2.	Résultats à la station Thabor de juin à décembre 2024.....	21
VII3.	Présentation d'Air Breizh	21
d)	Présentation générale	21
e)	Missions.....	21
f)	Un observatoire régional de la qualité de l'air	22

I. CONTEXTE

Le carbone suie est formé par la combustion incomplète de combustibles carbonés (biomasse et hydrocarbures). Il se caractérise par sa composition, constitué d'éléments de carbone, et par sa couleur noire qui absorbe le rayonnement lumineux.

Dans un rapport publié en 2019 (Anses, 2019), l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), a pointé l'impact sanitaire des particules composées de carbone suie, du fait de leurs faibles tailles. La grande majorité des particules de carbone suie étant présentes dans les particules PM_{2,5} (diamètre inférieur à 2,5 µm), elles sont capables de passer la membrane alvéolo-capillaire, en se diffusant dans le sang et ainsi dans le corps entier. Elles ont des impacts respiratoires, cardio-vasculaires, cognitifs et reproductifs.

Le suivi du carbone suie a débuté à Rennes en 2019, au niveau de la station urbaine de fond Pays-Bas, dans le cadre du programme CARA¹ (Caractérisation chimique des particules fines). En raison de la fermeture de cette station fin 2022, la surveillance a été transférée sur la nouvelle station urbaine de fond Thabor à partir de 2023.

Pour compléter ces données de mesure en situation de fond urbain, la station trafic Laënnec a été équipé d'un appareil de mesure du carbone suie en juin 2024.

Le carbone suie fait partie des polluants non réglementés dans l'air ambiant en France. Il n'existe à ce jour aucune valeur de référence pour ce polluant. Cependant, compte tenu de son impact sanitaire et climatique, ce polluant fait partie des polluants d'intérêt national (LCSQA, 2021) qui font l'objet d'une surveillance nationale. De plus, dans le cadre de la nouvelle directive européenne² qui vise à rendre plus strict les seuils pour les polluants les plus nocifs à la santé humaine (exemple des particules en suspension PM₁₀ et PM_{2,5}, de l'ozone – O₃ ou encore du dioxyde d'azote – NO₂), le carbone suie fait partie des polluants émergents à suivre sur certains sites caractéristiques de pollution de fond (rurale et urbaine).

Ce document décrit le dispositif de surveillance du carbone suie à Rennes et fait le bilan des mesures réalisées en 2024.

¹ <https://www.lcsqa.org/fr/le-dispositif-cara>

² Directive (UE) 2024/2881 du 23 octobre 2024 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

II. MATERIEL ET METHODE DE MESURE

II.1. Mesure du carbone suie

L'aéthalomètre multi-longueurs d'onde (de type AE33) (Figure 1) mesure la concentration en BC en effectuant une mesure de la lumière absorbée par les particules prélevées en continu sur une bande filtrante. La mesure est réalisée dans la fraction PM_{2,5}.

Par différence de mesures de la transmission lumineuse entre la bande filtrante vierge et la bande filtrante chargée en particules, un coefficient d'absorption de la lumière par les particules est déterminé. Cette analyse est réalisée à sept longueurs d'onde réparties de la gamme du proche infrarouge (370 nm) à celle du proche ultraviolet (950 nm).

Les concentrations de BC sont calculées avec une haute résolution temporelle (60s) en analysant l'atténuation de la transmission lumineuse au cours du temps.

L'AE33 commercialisé par Magee Scientific, détermine la concentration de BC avec le coefficient d'absorption à 880 nm. D'autres longueurs d'onde sont utilisées pour estimer les contributions des différentes sources de combustion (hydrocarbures et biomasse).



Figure 1 : Aéthalomètre modèle AE33 à la station Pays-Bas

La concentration en carbone suie est donnée par l'expression suivante :

$$BC = BC_{ff} + BC_{wb}$$

Où **BC** : Concentration en carbone suie totale

BC_{wb} : Concentration en carbone suie issu de la combustion de biomasse, « Wood burning » (chauffage au bois, brûlage de déchets vert et feux de forêt)

BC_{ff} : Concentration en carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures, « fuel fossile » (essentiellement issu du transport routier)

II.2. Méthodologie pour l'estimation de la contribution de la combustion de biomasse et d'hydrocarbures dans les PM₁₀

Après avoir calculé les deux sources du BC lié à la combustion d'hydrocarbures (BC_{ff}) et à la combustion de biomasse (BC_{wb}), il est ensuite possible de les utiliser pour **estimer les contributions de ces deux sources dans les concentrations en PM₁₀** à l'aide de coefficients issus de la littérature scientifique et d'études menées par le LCSQA. En l'absence d'information plus précise issue d'étude spécifique sur leurs valeurs, les facteurs appliqués à la station Thabor sont ceux recommandés par défaut par le LCSQA (LCSQA, 2020).

$$\text{PMwb} = 10 \times \text{BCwb}$$

$$\text{PMff} = 2 \times \text{BCff}$$

Où **PMff** est la concentration massique des particules issues de la combustion d'hydrocarbures
PMwb est la concentration massique des particules issues de la combustion de biomasse

En plus du carbone suie, PMff et PMwb sont constituées principalement d'aérosols organiques primaires. Il faut noter que les émissions primaires à l'échappement automobile sont prises en compte dans la part liée à la combustion d'hydrocarbures (PMff). En revanche ces estimations n'intègrent pas les particules issues de l'abrasion des pneus, des freins, de la chaussée...

Elles ne prennent pas en compte non plus l'influence de l'échappement automobile sur la formation d'aérosols secondaires à partir des émissions de précurseurs gazeux (dont les NOx).

Les contributions calculées de PMff et PMwb sont des estimations, il est important de les considérer comme des ordres de grandeurs et non pas des valeurs de mesure précises.

En annexe (VII.1), est présentée une autre méthode pour estimer les particules issues de la combustion de biomasse. Les résultats de l'estimation des PMwb via ces 2 méthodes sont très proches.

III. SITES DE MESURE

III1. Station Tabor

Le site de fond urbain Tabor a été mis en service fin 2022. La station est située à proximité du centre-ville de Rennes, place Saint-Melaine, à côté du jardin Tabor, d'un parking d'une 10^{aine} de places et d'une école.

Cette station remplace les sites de Pays-Bas et de Saint-Yves, fermés courant 2022. Elle regroupe les analyseurs qui étaient dans ces 2 stations urbaines de fond.

La cabine est équipée d'un analyseur de particules PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, d'oxydes d'azote, d'ozone et de préleveurs pour le suivi des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), des métaux lourds (Tableau 1) et des pesticides.

Cette station est une station de référence « particules » de la région Bretagne et elle fait partie du programme national CARA. Elle est ainsi équipée d'un ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor) et d'un aéthalomètre AE33.

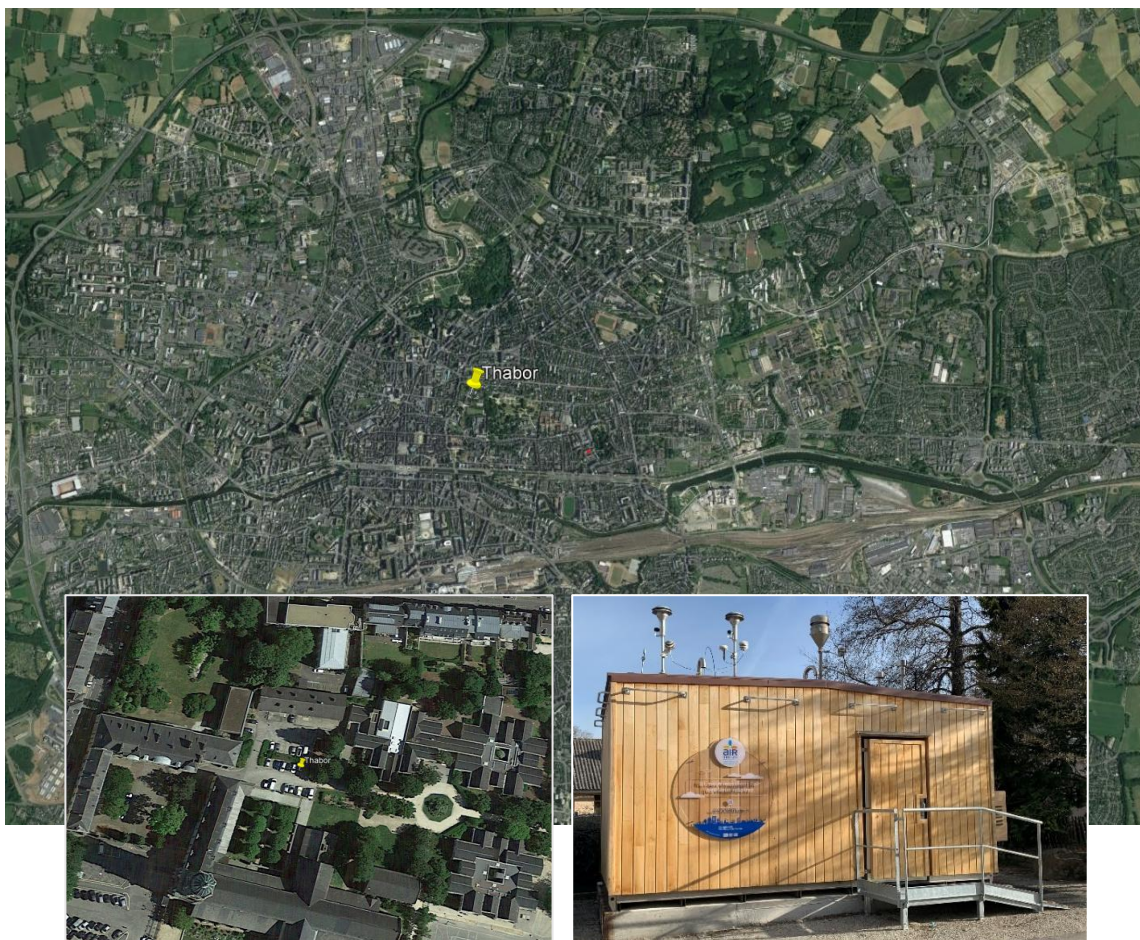


Figure 2 : Localisation de la station Tabor à Rennes

Tableau 1 : Caractéristiques de la station urbaine de fond Thabor à Rennes

Typologie de la station	Station urbaine de fond
Code station	FR19039
Latitude	48°6'54.76'
Longitude	-1°40'23.12''
Altitude	54 m
Polluants mesurés	PM10, PM2.5, NOx, NO, NO ₂ , O ₃ , HAP, métaux lourds
Réglementés	
Non réglementés	PM1, Carbone suie, PM1-NR, pesticides, PUF

III1. Station Laënnec

La **station Laënnec** est un **site urbain trafic**, situé sur le boulevard du même nom à Rennes (35). Il s'agit d'un des deux sites trafic de Rennes dont l'objectif est de mesurer les concentrations maximales auxquelles la population résidant près d'une voie à fort trafic est susceptible d'être exposée.

Les polluants suivis au niveau de cette station sont les particules PM10, PM2,5, PM1 et les oxydes d'azote. La mesure du carbone suie a débuté le **10 juin 2024**.

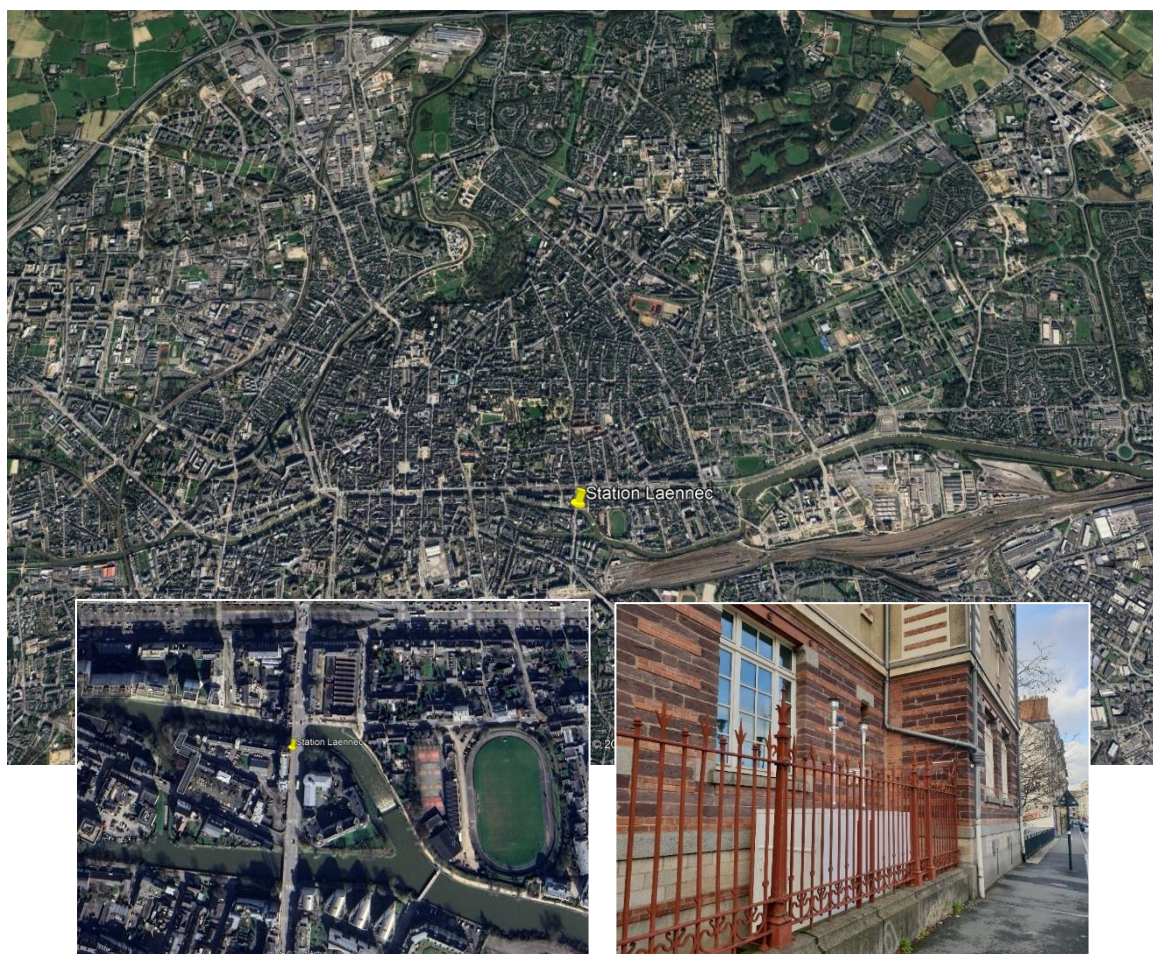


Figure 3 : Localisation de la station Laënnec à Rennes

Tableau 2 : Caractéristiques de la station urbaine trafic Laënnec à Rennes

Typologie de la station	Station urbaine trafic
Code station	FR19002
Latitude	48° 6'31.00"
Longitude	-1°39'57.10"
Altitude	28 m
Polluants mesurés	PM10, PM2.5, NOx, NO, NO ₂
Réglementés	PM1, Carbone suie
Non réglementés	

III.2. Bilan des mesures de particules à Rennes en 2024

A la station Rennes Thabor, la mesure des concentrations massiques en particules fines (PM10, PM2,5 et PM1) est assurée par un analyseur FIDAS (spectromètre optique de très haute résolution). Dans le Tableau 3, les mesures réalisées par analyseur Fidas, de la station trafic Laënnec, sont aussi présentées pour servir de comparaison.

Tableau 3 : Bilan réglementaire des mesures PM à Rennes en 2024

		Thabor	Laënnec	Seuils de référence			Nouvelle directive européenne (seuils visés en 2030)
		Station urbaine de fond	Station urbaine trafic				
PM10	Moyenne annuelle 2024 (µg/m³)	13	13	Objectif de qualité	30 µg/m³	Recommandation OMS 2021 : 20 µg/m³	20 µg/m³ en moy annuelle
				Valeur limite	40 µg/m³		
	Nombre de dépassements de 50 µg/m³ en moyenne journalière	-	1	Valeur limite	50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 fois par an	Recommandation OMS : 45 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an	45 µg/m³ en moy journalière, à ne pas dépasser plus de 18 fois par an
PM2,5	Moyenne annuelle (µg/m³)	8	8	Objectif de qualité	10 µg/m³	Recommandation OMS 2021 : 5 µg/m³	10 µg/m³ en moy annuelle
				Valeur cible	20 µg/m³		
				Valeur limite	25 µg/m³		

En 2024, les **moyennes annuelles en PM10 et PM2,5** sont égales pour les **deux stations rennaises**. Les seuils réglementaires (actuels et à venir) pour les PM10 et les PM2,5 sont respectés. Cependant les concentrations moyennes annuelles en PM2,5 dépassent la recommandation OMS (5 µg/m³). Les valeurs réglementaires établies à partir des moyennes annuelles ne permettent pas de rendre compte des disparités saisonnières. La Figure 4 présente l'évolution des moyennes journalières des concentrations en PM10 et PM2,5 mesurées à Rennes en 2024. Les variations journalières sont similaires entre les deux stations urbaines (trafic pour Laënnec et de fond pour Thabor). Une évolution saisonnière des concentrations est constatée, avec des valeurs classiquement plus élevées en hiver/printemps en raison d'émissions liées entre autres au chauffage résidentiel, à l'agriculture et à des conditions climatiques plus favorables à l'accumulation des polluants dans l'atmosphère.

A Rennes, seule une journée, au niveau de la station trafic Laënnec, a été concernée par un dépassement du seuil d'Information/Recommandation (IR) fixé à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne journalière) pour les PM10 ; le 19 janvier 2024.

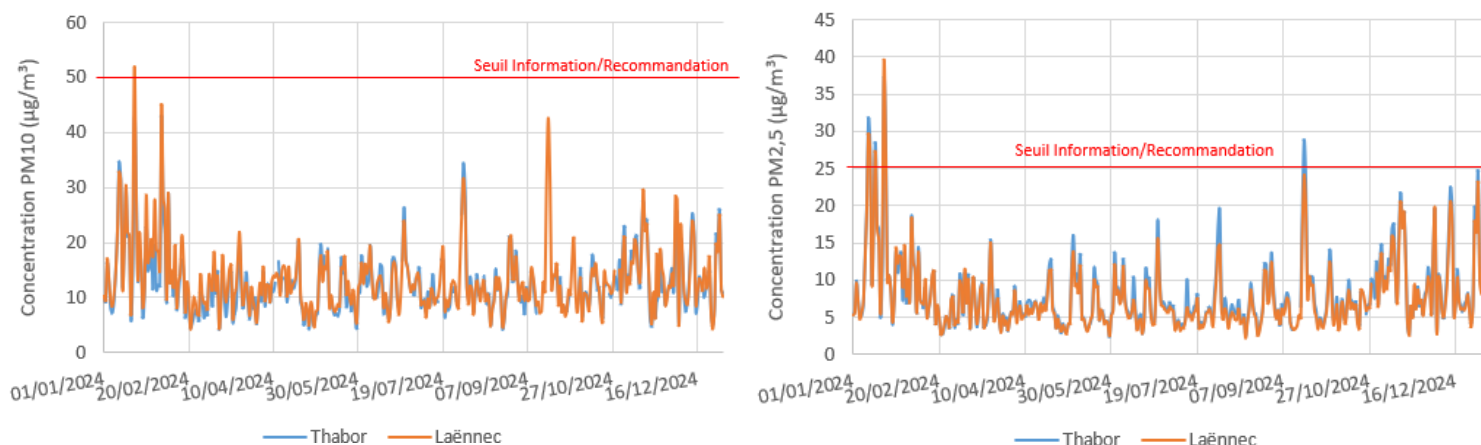


Figure 4 : Evolution journalière des concentrations en PM10 et PM2,5 à Rennes en 2024

En juillet 2023, l'arrêté préfectoral d'Ille-et-Vilaine³ a évolué pour inclure un seuil d'information/recommandation journalier pour les PM2,5 fixé à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En 2024, plusieurs dépassements du seuil IR pour les PM2,5 ont été mesurés :

- 6 jours à la station Thabor (en janvier et septembre),
- 5 jours à la station Laënnec (en janvier).

IV. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les conditions météorologiques, en particulier les vents, jouent un rôle important dans la dispersion ou l'accumulation des polluants.

Les données météorologiques présentées dans le chapitre suivant et dans l'ensemble du rapport, sont tirées des mesures de la station Météo France de Rennes St-Jacques (code Météo France 35281001) située à moins de 10 kilomètres du centre de Rennes.

IV1. Direction et vitesse de vent

Les conditions de direction et vitesse du vent pendant une période sont souvent représentées par des roses des vents (Figure 5). Celle-ci permet de visualiser sur une période donnée :

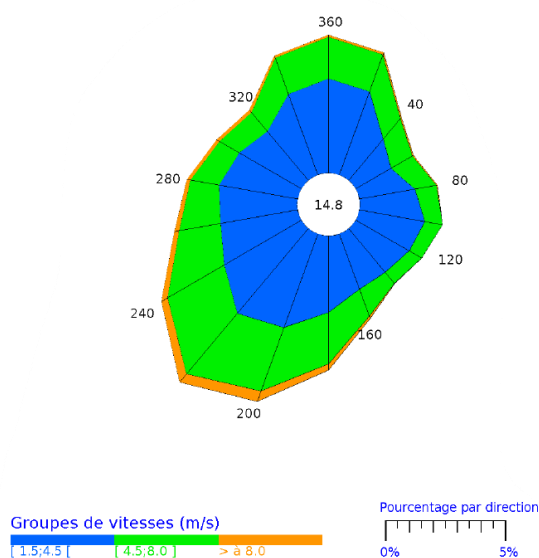
- le pourcentage de vent pour chaque direction, ainsi plus la pôle est de grande taille plus les vents venant de cette direction ont été nombreux pendant la période,

³ Arrêté préfectoral d'Ille-et-Vilaine relatif aux mesures d'urgences applicables en cas de pic de pollution de l'air ambiant par les particules fines (PM10) et très fines (PM2.5), le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃), 2023

- les vitesses des vents venant de chaque direction et leur occurrence : la couleur de chaque pâle indique la classe de vitesse et sa grandeur, le pourcentage de vent avec cette vitesse.

En 2024, la rose des vents à Rennes est proche de la normale de rose des vents. (1991 – 2020). Les **vents dominants sont issus de secteur Sud-Ouest**. Les vents de Nord sont moins présents qu'à la normale.

Normale de rose des vents à Rennes - St Jacques (période 1991 – 2020)



Rose des vents en 2024 à Rennes – St Jacques

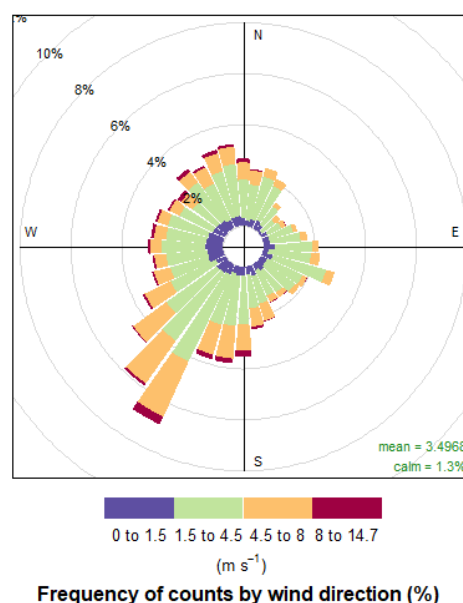


Figure 5 : Normale de rose des vents et rose des vents en 2024 à Rennes St-Jacques (Météo France)

IV2. Pluviométrie et température

La **température** est un paramètre influent sur les teneurs en polluants atmosphériques. Un écart thermique important entre la nuit et le jour, associé à des températures froides, favorise les phénomènes d'inversion thermique qui contribuent à l'accumulation des polluants (phénomène rencontré couramment au printemps). De plus les températures ont un impact sur certaines activités émettrices ; le chauffage résidentiel par exemple est dépendant des températures.

Quant aux **précipitations**, elles sont favorables à un lessivage de l'atmosphère, permettant une diminution des concentrations en polluants.

Les températures mensuelles (maximales et minimales moyennes) ainsi que les cumuls de précipitations relevés en 2024 sont comparés aux normales (1991 - 2020) dans la

Figure 6.

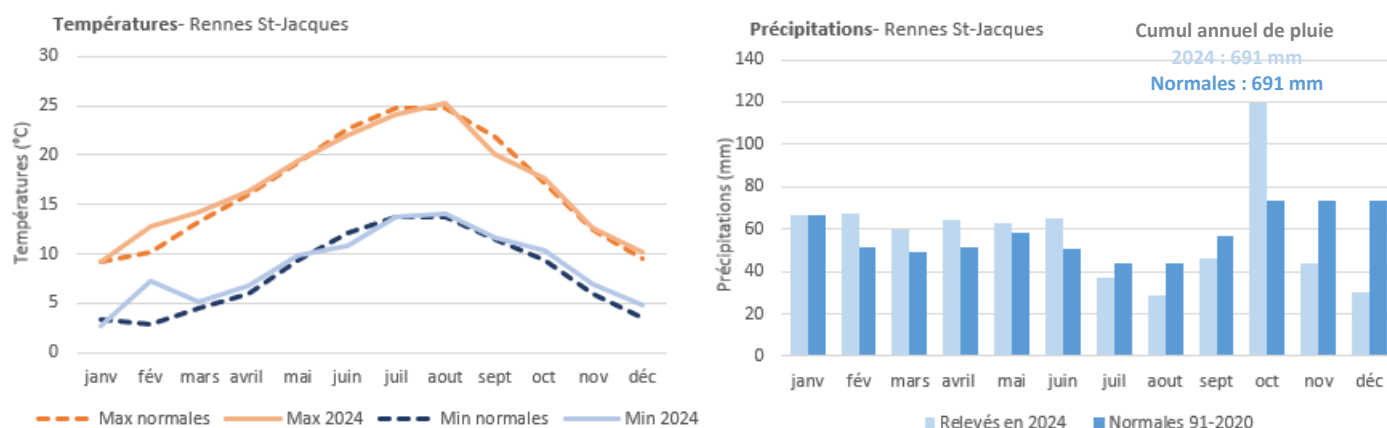


Figure 6 : Pluviométrie, températures normales et relevées en 2024 à la station météo France Rennes St-Jacques

Le mois de février 2024 se démarque avec des températures moyennes maximale et minimale supérieures respectivement de +2,5 et +4,4°C par rapport aux normales. Le mois de juin présente une température moyenne minimale inférieure à la normale mensuelle avec -1,2°C. La moyenne maximale de septembre est inférieure de 1,8°C à la normale. A partir d'octobre, les températures moyennes minimales sont supérieures d'environ 1°C aux normales mensuelles jusqu'à décembre.

Le cumul de précipitation (691 mm), en 2024, est égal au cumul moyen annuel relevé dans le passé (1991 – 2020). La répartition mensuelle des cumuls se distingue des normales mensuelles. Les mois de février à juin sont plus pluvieux que dans le passé alors que de juillet à décembre la pluviométrie est déficitaire par rapport aux normales à l'exception du mois d'octobre qui présente un cumul de pluie avec + 47 mm par rapport à la normale mensuelle.

Le cumul de précipitation annuel, en 2024, est égal au cumul normal. La répartition mensuelle est différente de la répartition normale (1991 – 2020) avec une première moitié de l'année plus pluvieuse et une deuxième moitié plus sèche à l'exception du mois d'octobre qui est excédentaire en pluie (écart relatif de +64% par rapport à la normale mensuelle). Au cours de l'année 2024, les températures moyennes maximales et minimales sont proches des normales. Les températures moyennes maximales et minimales de février sont plus élevées que les normales alors que les mois

de juin et septembre présentent des températures inférieures aux normales avec respectivement -1,2°C pour la moyenne minimale et -1,8°C pour la moyenne maximale.
En 2024, les vents observés sont majoritairement issus du secteur Sud-Ouest en cohérence avec la normale de rose des vents.

V. RESULTATS

Au préalable un contrôle qualité a été effectué afin de fournir une information sur la représentativité des données exploitées.

V1. Taux de couverture

Afin de garantir une bonne représentativité des mesures sur l'année et assurer leur comparaison aux valeurs repères annuelles, la réglementation française a fixé des durées de mesure minimales sur l'année appelées « Taux de couverture » et exprimées en pourcentage de l'année. Pour les polluants réglementés (PM10, PM2,5, O₃, NO₂) la référence est fixée à 85%. Dans la cadre de l'étude de la composition chimique des particules il n'existe pas de seuil réglementaire à respecter.

A la **station Thabor**, en 2024, le taux de couverture pour la mesure du BC est de **88%**. Au niveau de la **station Laënnec**, il est de **53%** sur l'année du fait de l'installation de l'analyseur courant juin 2024. Bien que la représentativité des mesures au niveau de la station Laënnec ne soit pas garantie sur l'année puisque les données ne couvrent que la moitié de celle-ci, les résultats disponibles seront tout de même présentés (V3). Notons que le taux de couverture du 10 juin 2024 au 31 décembre, 2024, est de 95% ce qui illustre un fonctionnement sans interruption sur la période de fonctionnement de l'AE33 au niveau de la station Laënnec.

V2. Station Thabor

a) Résultats globaux 2024

Les statistiques pour les données de carbone suie et des différentes sources de combustion (hydrocarbures et biomasse) sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Statistiques des mesures de carbone suie en 2024 à la station Thabor

µg/m ³	BC	BCff	BCwb	PMff	PMwb
Moyenne annuelle	0,43	0,28	0,15	0,6	1,5
Médiane	0,3	0,21	0,07	0,4	0,7

Max horaire	9,09	5,06	4,92	10,1	49,2
Max journalier (date)	3,14 (19/01/2024)	1,01 (03/12/2024)	1,14 (04/12/2024)	2,0 (03/12/2024)	11,4 (04/12/2024)

En 2024, la concentration moyenne annuelle du carbone suie mesurée à la station Thabor est de 0,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. **Le BC est principalement émis par la combustion d'hydrocarbures (64%).**

Les **maximums journaliers** sont observés en **période hivernale** ce qui est cohérent avec les conditions météorologiques hivernales favorables à l'utilisation d'installations émettrices de carbone suie (exemple du chauffage résidentiel au bois) et à l'accumulation de polluants dans l'atmosphère (conditions peu dispersives).

En moyenne en 2024, **16% des PM10 mesurées au niveau de la station Thabor à Rennes sont liées aux phénomènes de combustion.** Une part de 4% des PM10 est imputable à la combustion d'hydrocarbures et de 12% pour la combustion de biomasse. A l'échelle journalière, la part maximale de la source de combustion de biomasse dans les PM10 est de 61% et celle de la combustion d'hydrocarbures est de 16%.

Durant l'hiver 2023 – 2024, une campagne de mesure spécifique sur l'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air au niveau du territoire de Rennes Métropole a été réalisée (Air Breizh, 2025)

La comparaison de la moyenne annuelle du carbone suie mesurée à la station Thabor avec celles d'autre sites urbains (de fond et trafic) en France en 2024 est réalisée (Figure 7).

En 2024, comme les années précédentes (Air Breizh, 2024), la station urbaine de fond Thabor à Rennes se situe parmi les sites français présentant les plus faibles moyennes annuelles. Notons que les plus fortes moyennes en BC sont observées au niveau des sites trafics du fait de la proximité du transport routier. A titre d'exemple, la station proche de l'autoroute A1 – Saint-Denis (93) présente une moyenne (5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) plus de 10 fois supérieures à celle de la station Thabor (0,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

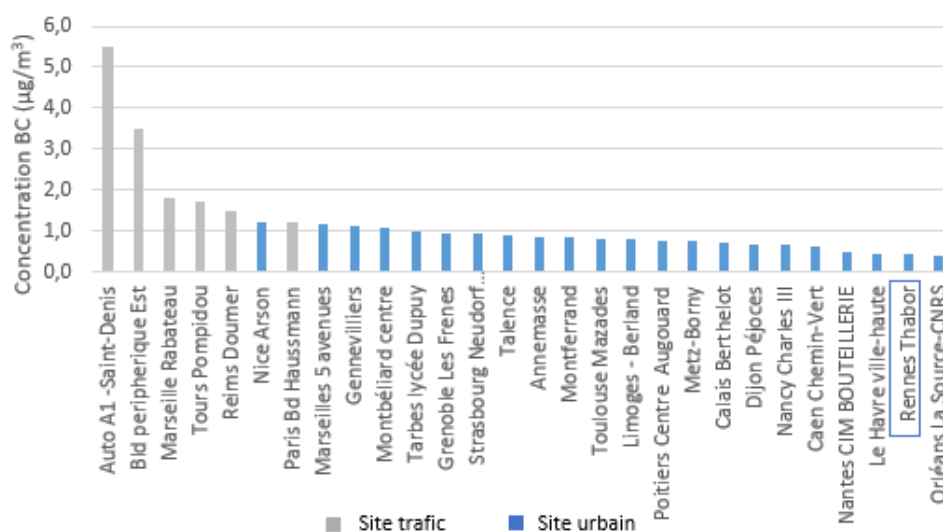


Figure 7 : Moyennes annuelles des concentrations de BC mesurées en France (Source : Géod'air)

b) Variation pluriannuelle

L'historique des moyennes annuelles du BC, BCff et BCwb mesurées à Rennes (station Pays-Bas et station Thabor) depuis 2019 sont présentées dans la Figure 8.

En 2023, première année de mesure du carbone suie à la station Thabor à Rennes (du fait du déménagement de la station Pays-Bas), la concentration moyenne annuelle du BC est restée stable par rapport à la moyenne en 2022 à la station Pays-Bas, après une baisse significative de 45% des niveaux entre 2019 et 2022 au niveau de cette dernière. Entre 2024 et 2023, un écart relatif de -13% est constaté pour le carbone suie à la station Thabor.

Le BCff montre une variation 2024 - 2023 similaire à celle du BC avec une baisse de -16%. Le BCwb varie peu avec un écart de 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit une baisse de 8%).

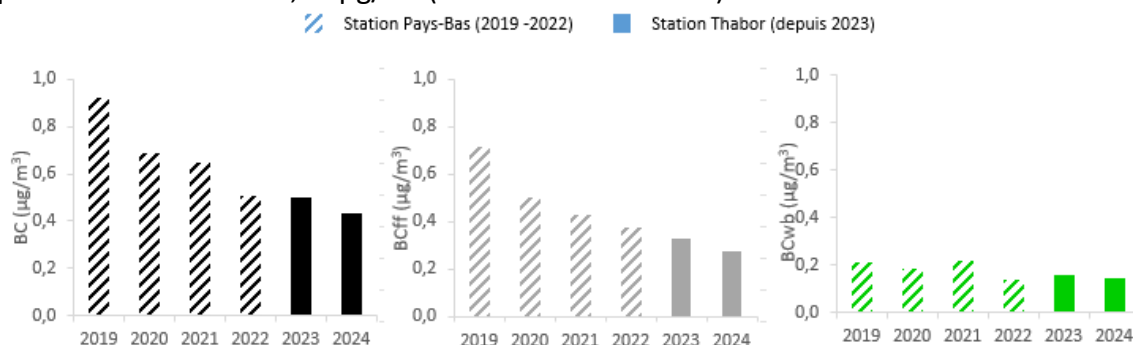


Figure 8 : Evolution pluriannuelle des concentrations en BC, BCff et BCwb mesurées à Rennes depuis 2019

c) Evolution journalière des concentrations en carbone suie

L'évolution des concentrations journalières du carbone suie (Figure 9) confirme l'influence saisonnière sur les niveaux mesurés. Le carbone suie issu de la combustion de biomasse (BCwb) présente des niveaux plus forts en période hivernale en lien avec l'utilisation du chauffage résidentiel au bois. Quant au carbone suie lié à la combustion d'hydrocarbures (BCff), il est relativement stable au fil de l'année avec des augmentations ponctuelles lorsque les conditions météorologiques sont peu dispersives. Le maximum journalier en BC de 3,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est mesuré le 19 janvier cependant la distinction des sources n'est pas disponible pour cette journée. En revanche le maximum journalier (BCff+BCwb), de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est atteint le 4 décembre 2024.

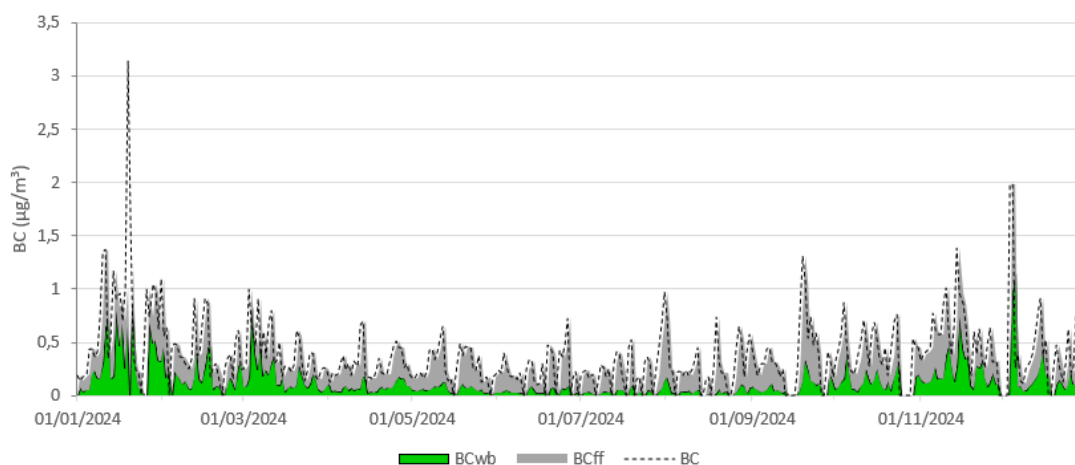


Figure 9 : Evolution journalière des concentrations cumulées en BCwb et BCff au niveau de la station Thabor en 2024

La concentration moyenne en carbone suie, à la station Thabor à Rennes, est de $0,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il est émis principalement par la combustion d'hydrocarbures (64%). Comme déjà constaté les années précédentes, la station urbaine de fond rennaise se situe parmi les sites urbains présentant les plus faibles concentrations de BC en France.

La variation pluriannuelle, à Rennes, montre une diminution significative du BC depuis le début de la mesure en 2019 (environ -60%). Entre 2023 et 2024, la baisse du carbone suie est de 13% à la station Thabor notamment en lien avec la baisse du carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures (BCff). Quant au BCwb, il varie peu entre les 2 années.

L'évolution des concentrations journalières en carbone suie met en avant une influence saisonnière marquée. Les niveaux sont le plus importants en hiver et plus faibles en été.

V3. Station Laënnec

L'exploitation des mesures mises en place, au niveau de la station Laënnec, à partir de juin 2024, est réalisée ci-dessous.

Les statistiques des mesures de carbone suie à la station urbaine trafic Laënnec de Rennes de la mi-juin à fin décembre 2024 sont présentées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Statistiques des mesures de carbone suie en 2024 (juin à décembre) à la station Laënnec

Juin – décembre 2024 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC	BCff	BCwb	PMff	PMwb
Moyenne	1,04	0,84	0,20	1,7	2,0
Médiane	0,80	0,66	0,12	1,3	1,2
Max horaire	10,26	7,89	5,36	15,8	53,6
Max journalier (date)	3,99 (02/12/2024)	2,64 (02/12/2024)	1,70 (03/12/2024)	5,3 (02/12/2024)	17,0 (03/12/2024)

De juin à décembre 2024, au niveau de la station urbaine trafic Laënnec, la concentration moyenne est de $1,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De même qu'au niveau de la station Thabor, la **principale source de BC est la combustion d'hydrocarbures avec une part plus importante (81%)**.

A titre de comparaison sur la même période, au niveau de la station Thabor, les statistiques ont été calculées de juin à décembre 2024 (annexe VII.2). La moyenne du BC est de $0,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit un écart de $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) avec une part de la combustion d'hydrocarbures de 70%. Ces résultats sont cohérents avec les différences de typologie des stations et l'influence du trafic routier plus marquée pour la station Laënnec.

En moyenne de juin à décembre 2024, **la proportion de PM10 liées aux phénomènes de combustion est de 28% au niveau de la station Laënnec à Rennes**. Une part de 13% des PM10 est imputable à la combustion d'hydrocarbures et de 15% pour la combustion de biomasse. Les contributions à l'échelle journalière peuvent être bien plus fortes puisque la part du trafic dans les PM10 atteint un maximum journalier de 51% et de 61% des PM10 pour la combustion de biomasse.

Ainsi, la **proportion des phénomènes de combustion au sein des PM10, au niveau de la station trafic, est supérieure à celle de la station urbaine de fond**. En effet de juin à décembre 2024, au niveau de la station Thabor, la part des PM10 imputables à des processus de combustion est de 15%, soit presque deux fois plus faible. En cohérence avec la typologie de la station Laënnec, la part de la combustion d'hydrocarbures est plus élevée (environ 2,5 fois celle de la station Thabor), en lien avec le trafic routier à proximité.

La moyenne en BC enregistrée au niveau de la station Laënnec est 2,4 fois supérieure à celle mesurée au niveau de la station Thabor pendant la même période (juin à décembre 2024). La part de la combustion d'hydrocarbures est également plus importante ce qui est cohérent avec la typologie de la station Laënnec.

V4. Comparaison de la variation journalière du BC pour différentes influences

Les variations journalières du carbone suie issue de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse sont présentées pour différentes influences de site (Figure 10).

Le **profil moyen journalier du carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures** est marqué, au niveau de la **station Laënnec**, avec **2 pics**, un premier le matin entre 6h et 9h TU (Temps Universel) et le deuxième entre 17 et 20h TU, en lien avec **le trafic aux heures de pointe**. L'intensité de ces 2 pics est respectivement 3 à 4 fois supérieure au niveau de la station Laënnec en comparaison à la station Thabor.

Le cycle journalier des polluants primaires (polluants directement rejetés dans l'atmosphère) est en effet largement gouverné par les conditions dispersives, en particulier la hauteur de couche limite, qui détermine le volume d'air dans lequel les polluants vont se disperser les émissions. Cette hauteur de couche limite est généralement minimale le matin et, dans une moindre mesure, le soir, et elle est maximale en milieu de journée. A l'évolution de ces conditions dispersives, se rajoutent le cycle des émissions du trafic routier, avec un maximum d'émissions à l'heure de pointe du matin, au

moment où les conditions de dispersion sont les plus défavorables, et un pic le soir, plus étalé, dû à la baisse de la hauteur de couche limite associée à l'étalement des heures de retour travail-domicile. Les **concentrations maximales de carbone suie issu de la combustion de biomasse** sont enregistrées **le soir**, entre 18h et 23h TU. En période hivernale, le chauffage au bois est utilisé plus généralement en début de soirée jusqu'au matin. Le profil journalier moyen est légèrement plus marqué au niveau de la station Laënnec (maximum, à 20h TU, est 2 fois supérieur à celui de la station Thabor). Ceci pourrait être liée à un nombre et une densité d'installation de chauffage autour des points de mesure qui diffèrent.

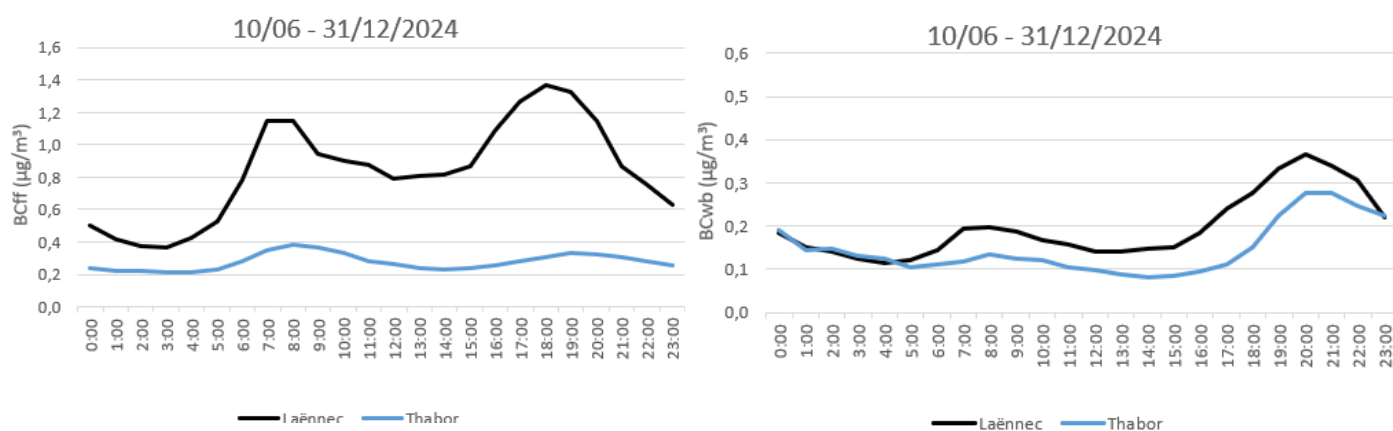


Figure 10 : Variation journalière du BCff (à gauche) et BCwb (à droite) pour la station Thabor et la station Laënnec de juin à décembre 2024

VI. CONCLUSION

Le carbone suie est un traceur universel d'un mélange variable de particules provenant d'une grande variété de sources de combustion. L'aéthalomètre AE33 (Magee Scientific) est utilisé pour mesurer la concentration massique du carbone suie et permet de distinguer le carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures et celui lié à la combustion de biomasse. Le suivi du carbone suie est réalisé en station urbaine de fond à Rennes depuis 6 ans. Ce rapport présente les résultats enregistrés en 2024 au niveau de la station urbaine de fond Thabor. Il traite également les premiers mois de mesure du carbone suie au niveau de la station urbaine trafic Laënnec à Rennes (installation en juin 2024) et permet une comparaison des concentrations en fonction des différentes influences.

Concentration de BC et ses sources

En 2024, la **concentration moyenne en carbone suie, à la station Thabor à Rennes**, est de $0,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il est principalement émis par la combustion d'hydrocarbures (64%). La comparaison au niveau national permet de situer la **station urbaine de fond rennaise (Thabor) parmi les sites urbains en France présentant les plus faibles concentrations en BC**.

Les premiers mois de suivi du BC (juin à décembre 2024) à la **station trafic Laënnec**, à Rennes, mettent en avant **une moyenne 2,4 fois supérieure à celle de la station urbaine de fond Thabor**. L'influence du trafic routier est constatée avec une part du carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbure plus importante à la station Laënnec (81% contre 70% à la station Thabor).

Variation temporelle

La **variation pluriannuelle** à Rennes en situation de fond urbain (station Pays-Bas puis Thabor), montre une **diminution significative du BC depuis le début de la mesure en 2019** (environ -60%). Entre 2023 et 2024, la baisse de la concentration annuelle en carbone suie est de 13% à la station Thabor notamment en lien avec la baisse du carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures (BCff) (-16%). Quant au BCwb, il varie peu entre les 2 années. Ces évolutions interannuelles peuvent s'expliquer par une baisse des émissions mais également une différence de conditions météorologiques (hiver moins rigoureux, conditions plus dispersives, ...).

L'évolution des concentrations journalières en carbone suie met en avant une influence saisonnière marquée. Les **niveaux sont plus importants en hiver** en lien avec l'utilisation du chauffage au bois (augmentation des concentrations en BCwb) et plus faibles en été. Les conditions peu dispersives rencontrées, notamment en hiver, impactent les niveaux en carbone suie mesurés et expliquent les augmentations ponctuelles de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures.

Le **profil moyen journalier du carbone suie** issu de la **combustion d'hydrocarbures** est différent de celui lié à la combustion de biomasse et il est particulièrement marqué au niveau de la station Laënnec. La **station trafic présente 2 pics** bien distincts ; un le matin et un le soir, en lien avec les **heures de pointe** des trajets domicile/travail. Le **carbone suie issu de la combustion de biomasse** présente un niveau **maximum journalier atteint le soir** ce qui coïncide avec l'utilisation du chauffage au bois résidentiel.

Perspectives

- Combinaison de la mesure du carbone suie / particules (ultra-)fines

Dans le cadre de la stratégie de surveillance nationale de la concentration en nombre total des particules (ultra-)fines (LCSQA, 2020), il est recommandé de combiner la mesure de la concentration en nombre avec celle du carbone suie. En effet, le carbone suie est généralement compris au sein des particules ultrafines (PUF). La mesure des PUF au niveau de la station Thabor à Rennes, a été mise en place en fin d'année 2023. Les résultats de l'année 2024, corrélés aux données de carbone suie, seront présentés dans un rapport distinct.

- Une surveillance élargie à d'autres contextes

La nouvelle directive européenne 2024/2881, du 23 octobre 2024, prévoit notamment, la création de « super sites » de mesure dont l'un des objectifs sera de mesurer certains des polluants actuellement non réglementés (exemple des polluants d'intérêts nationaux) afin d'acquérir de la donnée et ainsi mieux comprendre les effets de ces polluants sur la santé et l'environnement. C'est

donc dans ce contexte que la **mesure en continu du carbone suie** va être mise en place au niveau de la **station rurale nationale Kergoff** située en centre Bretagne (22), courant 2025.

Par ailleurs, dans la mesure du possible et en fonction des sollicitations, la mesure du carbone suie sera intégrée aux campagnes de mesure liées à l'influence du trafic routier ou du chauffage résidentiel au bois.

Références

- Air Breizh. (2024). *Composition chimique des particules dans le centre urbain de Rennes - Résultats des mesures 2023 à la station urbaine de fond Rennes Thabor.*
- Air Breizh. (juin 2025). *Étude de l'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air - Campagne de mesure sur le territoire de Rennes Métropole durant l'hiver 2024.*
- Anses. (2019). *Particules de l'air ambiant extérieur - Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie.*
- LCSQA. (2020). *Guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par aethalomètre multi longueur d'onde AE33 dans l'air ambiant.*
- LCSQA. (2020). *Stratégie de surveillance nationale de la concentration en nombre total des particules (ultra-)fines.*
- LCSQA. (2021). *Liste des polluants d'intérêt national.*

VII. ANNEXES

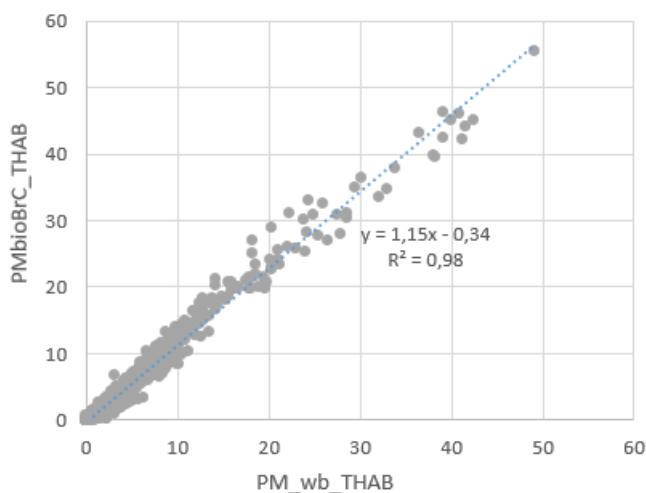
VII1. Estimation du Brown Carbon

La **combustion de biomasse** émet principalement de la matière organique (carbone organique) dont une partie est capable d'absorber le rayonnement lumineux dans le proche ultraviolet. Cette fraction organique est appelée **Brown Carbon**.

La concentration du Brown Carbon peut être estimée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{PMbioBrC} \approx 5,735 \times (\text{BC1}-\text{BC7})$$

Avec BC1 = concentration équivalente du BC à 370 nm et BC7 = concentration équivalente de BC à 950 nm.



Cette méthodologie appliquée aux concentrations horaires (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées en 2024 à la station Thabor présente une très bonne corrélation avec la méthode décrite dans la partie II.2.

VII2. Résultats à la station Thabor de juin à décembre 2024

Les résultats des mesures du BC à la station Thabor sur la même période (10 juin au 31 décembre 2024) que les mesures faites à la station Laënnec sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Juin à décembre 2024 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC	BCff	BCwb	PMff	PMwb
Moyenne	0,44	0,30	0,13	0,6	1,3
Médiane	0,33	0,24	0,07	0,5	0,7
Max horaire	71,2	5,06	4,92	10,1	49,2
Max journalier (date)	1,99 (03/12/2024)	1,01 (03/12/2024)	1,14 (04/12/2024)	2,0 (03/12/2024)	11,4 (04/12/2024)

VII3. Présentation d'Air Breizh

d) Présentation générale

La surveillance de la qualité de l'air est assurée en France par des associations régionales, constituant le dispositif national représenté par la Fédération ATMO France.

Ces organismes, agréés par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, ont pour missions de base, la mise en œuvre de la surveillance et de l'information sur la qualité de l'air, la diffusion des résultats et des prévisions, et la transmission immédiate au Préfet et au public, des informations relatives aux dépassements ou prévisions de dépassements des seuils de recommandation et d'information du public et des seuils d'alerte.

En Bretagne, cette surveillance est assurée par Air Breizh depuis 1986.

Le réseau de mesure s'est régulièrement développé et dispose en 2024, de 15 stations de mesure, réparties sur le territoire breton, ainsi que d'un laboratoire mobile, de cabines et de différents préleveurs, pour la réalisation de campagnes de mesure ponctuelles.

L'impartialité de ses actions est assurée par la composition quadripartite de son Assemblée Générale regroupant quatre collèges :

- Collège 1 : services de l'Etat,
- Collège 2 : collectivités territoriales,
- Collège 3 : émetteurs de substances polluantes,
- Collège 4 : associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

e) Missions

- **Surveiller les polluants urbains** nocifs (SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , Métaux lourds, HAP, Benzène, PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$) dans l'air ambiant,
- **Informers la population, les services de l'Etat, les élus, les industriels...**, notamment en cas de pic de pollution. Diffuser quotidiennement l'indice ATMO, sensibiliser et éditer des supports d'information : plaquettes, site web...,

- **Etudier l'évolution de la qualité de l'air au fil des ans**, et vérifier la conformité des résultats par rapport à la réglementation.
- **Apporter son expertise sur des problèmes de pollutions spécifiques** et réaliser des campagnes de mesure à l'aide de moyens mobiles (laboratoire mobile, tubes à diffusion, préleveurs, jauges OWEN...) dans l'air ambiant extérieur et intérieur

f) Un observatoire régional de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air pour les polluants réglementés est assurée via **des stations de mesures réparties au niveau des grandes agglomérations bretonnes**. Ce dispositif comptant une quarantaine d'analyseurs en continu, est complété par d'autres outils comme **l'inventaire spatialisé des émissions** et **la modélisation**, qui permettent d'assurer une meilleure couverture spatiale de notre région.



www.airbreizh.asso.fr

3 E, rue de Paris
Atalis 2,
35510 CESSON-SEVIGNE
Tél. 02 23 20 90 90