



Rapport d'étude

Composition chimique des particules dans le centre urbain de Rennes - Résultats des mesures 2023 à la station urbaine de fond Rennes Thabor

V.1 du 08/10/2024

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 : Composition chimique des particules dans le centre urbain de Rennes
Résultats des mesures 2023 à la station urbaine de fond Rennes Thabor**

Version - date	Modifications	Auteur	Validation
V.1 du 08/10/2024	Création du document	Raphaële FALHUN (Ingénieure d'études)	Olivier CESBRON (Chef de projet) Gaël LEFEUVRE (Directeur)

SOMMAIRE

I.	Contexte.....	7
II.	Les particules	8
II1.	Granulométrie des particules	8
II2.	Origine et composition des particules	8
III.	Moyens mis en oeuvre.....	10
III1.	Appareils de mesures.....	10
a)	Aéthalomètre (AE33)	10
b)	Spectromètre de masse (ACSM).....	11
III2.	Site de mesure	12
III3.	Taux de couverture	13
III4.	Bilan des mesures de particules à Rennes en 2023.....	13
IV.	Conditions météorologiques.....	15
IV1.	Direction et vitesse de vent	15
IV2.	Pluviométrie et température	16
V.	Résultats.....	17
V1.	Carbone suie	17
a)	Analyse statistique en 2023.....	17
b)	Evolution interannuelle	18
c)	Evolution mensuelle	19
d)	Evolution journalière	19
e)	Origine du carbone suie en 2023.....	21
V2.	Composition chimique	22
a)	Analyse statistique 2023.....	22
b)	Evolution temporelle	23
c)	Origines des espèces majeures	26
VI.	Conclusion.....	28

VII.	Annexes.....	30
VII1.	Estimation du Brown Carbon.....	30
VII2.	Validation des données ACSM.....	30
	a) Comparaison aux données PM1 (Fidas).....	30
	b) Balance ionique.....	31
VII3.	Présentation d'Air Breizh.....	32
	a) Présentation générale.....	32
	b) Missions.....	32
	c) Un observatoire régional de la qualité de l'air.....	32

Liste des figures

Figure 1 :	Comparaison des tailles de particules PM10 et PM2,5 (Source U.S EPA).....	8
Figure 2 :	Aethalomètre à la station Tabor à Rennes.....	10
Figure 3 :	ACSM à la station Tabor à Rennes.....	11
Figure 4 :	Localisation de la station Tabor à Rennes.....	12
Figure 5 :	Evolution journalière des concentrations en PM10 à Rennes en 2023.....	14
Figure 6 :	Normale de rose des vents et rose des vents en 2023 à Rennes St-Jacques (Météo France)	15
Figure 7 :	Pluviométrie, températures normales et relevées en 2023 à la station météo France Rennes St-Jacques.....	16
Figure 8 :	Moyennes annuelles des concentrations en BC mesurées en France (Source Géod'air) en 2023.....	18
Figure 9 :	Suivi pluriannuel des concentrations en BC, BCff et BCwb à Rennes de 2019 à 2023.....	18
Figure 10 :	Variation des moyennes mensuelles de 2023 en BCwb et BCff (en contribution dans BC et en concentration).....	19
Figure 11 :	Evolution des concentrations journalières en BCff et BCwb en 2023 à la station Tabor	20
Figure 12 :	Evolution temporelle des concentrations moyennes journalières en PM10, PM2,5 et des fractions issues de la combustion de biomasse (PMwb) et de la combustion d'hydrocarbures (PMff)	20
Figure 13 :	Profil journalier à Tabor des PM10, PM2,5 et des 2 fractions (PMff et PMwb) et zoom sur la variation journalière PMff et PMwb.....	21
Figure 14 :	Rose de pollution de BCwb et BCff en 2023 à la station Tabor.....	22
Figure 15 :	Evolutions mensuelles (en concentration et contribution) des espèces mesurées par l'ACSM à la station Tabor en 2023.....	24
Figure 16 :	Evolution journalière des concentrations en matière organique et ions majeurs et leurs contributions aux PM1 en 2023 à la station Tabor.....	25
Figure 17 :	Profils journaliers moyens des 5 espèces majeures mesurées dans les PM1 par ACSM en 2023 à la station Tabor.....	25

Figure 18 : Rose de pollution de la matière organique et des ions majeurs pour la station Thabor de Rennes en 2023.....27

Figure 19 : Comparaison des données horaires (ACSM + AE33) avec les PM1 mesurées par fidas à la station Thabor en 202331

Figure 20 : Comparaison des données horaires NH_4^+ prédit et NH_4^+ mesuré de l'ACSM.....31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la station urbaine de fond Thabor à Rennes.....13

Tableau 2 : Bilan réglementaire des mesures PM à Rennes en 2023.....13

Tableau 3 : Médiane, moyennes annuelles et maximums horaires et journaliers obtenus par l'AE33 à Thabor en 202317

Tableau 4 : Moyennes annuelles, maxima horaires et journaliers des espèces chimiques des PM1-NR en 2023 à la station Thabor à Rennes22

Glossaire

ACSM	Aerosol Chemical Speciation Monitor
AE33	Aetholomètre multilongueur d'onde : appareil de mesure de carbone suie
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AASQA	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
BC	Carbone suie ou « Black Carbon »
BCff	Carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures, « fuel fossile »
BCwb	Carbone suie issu de la combustion de biomasse, « wood burning »
CARA	Programme de la caractérisation chimique des particules
Cl^-	Ion chlorure
COV	Composés organiques Volatils
EC	Carbone élémentaire
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
Heure TU	L'heure est exprimée en Temps Universel (TU)
LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
MERA	Observatoire national de Mesure et d'Evaluation en zone Rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance
NH_4^+	Ion ammonium
nm	nanomètre
NO_2	Dioxyde d'azote
NO_3^-	Ion nitrate
NO_x	Oxydes d'azote
OM	Matière organique

OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PM1	Particules fines ayant un diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm
PM1-NR	PM1 non-réfractaires
PM2,5	Particules fines ayant un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm (PM1 comprises dans les PM2,5)
PM10	Particules fines ayant un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (PM2,5 comprises dans les PM10)
PMff	Particules issues de la combustion d'hydrocarbures au sein de la fraction PM10
PMwb	Particules issues de la combustion de biomasse au sein de la fraction PM10
PUF	Particules ultrafines
SO ₂	Dioxyde de soufre
SO ₄ ²⁻	Ion sulfate
µm	micromètre

I. CONTEXTE

Les particules atmosphériques ont un impact important sur la santé et l'environnement. En France, la mortalité liée à la pollution de l'air ambiant est conséquente puisque 40 000 décès sont attribuables chaque année à une exposition de la population aux particules fines (PM_{2.5})¹. Les impacts environnementaux sont divers : eutrophisation ou acidification des milieux, influence sur le climat, dégradation des matériaux ou encore réduction de la visibilité. Le suivi réglementaire des particules en air ambiant est basé sur la mesure de la masse des particules dans l'air².

Air Breizh dispose depuis une vingtaine d'années d'un réseau d'analyseurs sur la région qui mesure en continu les concentrations massiques dans l'air des particules PM₁₀ et PM_{2,5} (en µg/m³). Chaque année, des épisodes de pollution particulaire sont observés notamment pendant les périodes froides ou pendant les épisodes printaniers.

La composition des particules en zone urbaine est particulièrement complexe du fait de la multitude des sources d'émission (anthropiques : trafic automobile, industrie, agriculture, naturelles : sels de mer, poussières minérales...) et des mécanismes de transformation physico-chimique.

Depuis 2018, Air Breizh a intégré le programme national CARA (CARActérisation chimique des particules), géré par le LCSQA qui vise à améliorer les connaissances sur l'origine et la nature des particules. Pour cela, la station urbaine de fond Pays-Bas a été équipée d'analyseurs en continu pour la composition chimique des particules.

Dans le cadre de l'évolution du dispositif de surveillance réglementaire à Rennes, la station Pays-Bas a été remplacée par une nouvelle station urbaine créée début 2023 à proximité du parc du Thabor. Depuis janvier 2023, c'est maintenant cette station urbaine de fond Thabor qui est la station de référence pour la mesure des particules au niveau de Rennes Métropole. Ce document présente le bilan annuel 2023 de la composition chimique des particules fines au niveau de cette nouvelle station rennaise.

¹ Impact de la 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. Santé publique France, 2021

² Article R221-1 du Code de l'Environnement

II. LES PARTICULES

Les particules atmosphériques sont un mélange de composés solides et/ou liquides, en suspension dans un milieu gazeux. Ces polluants particulaires sont parfois désignés sous le nom d'aérosols. Elles sont constituées d'une très grande variété de composés organiques et inorganiques. Les particules en suspension sont désignées par l'abréviation PM pour « Particulate Matter ».

II.1. Granulométrie des particules

Les particules fines sont classées en fonction de leur diamètre aérodynamique, c'est notamment par la taille que sont définis les seuils réglementaires. L'ensemble des particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres (μm) sont appelées PM10. De la même manière, les PM2,5 et PM1 désignent respectivement les particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 μm et 1 μm . La figure 1 illustre les PM en les comparant avec le diamètre d'un cheveu (50-70 μm) en parallèle d'un grain de sable (90 μm).

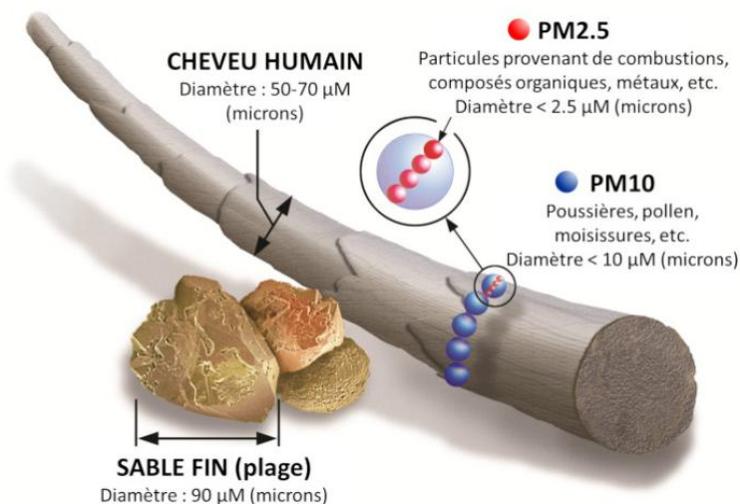


Figure 1 : Comparaison des tailles de particules PM10 et PM2,5 (Source U.S EPA)

II.2. Origine et composition des particules

Les particules peuvent aussi bien être d'origine **naturelle** que d'origine **anthropique**. Les particules naturelles proviennent des éruptions volcaniques, du transport par le vent de poussières minérales, des embruns marins, ou encore de la végétation. Les sources anthropiques sont la combustion d'hydrocarbures, de biomasse, l'agriculture, l'industrie.

Il faut distinguer deux catégories de particules selon leur processus de formation :

- les **particules primaires** émises directement dans l'atmosphère par différents mécanismes : par action mécanique du vent sur le sable, le sol ou la roche, par des processus de combustion tels que les feux de forêts, les incinérateurs, par des processus biologiques conduisant à

l'émission de pollens, par des activités industrielles ou encore par usure de matériaux tels que les pneus, les freins, le revêtement des routes.

- les **particules secondaires** formées dans l'atmosphère par des réactions physico-chimiques à partir de précurseurs gazeux tels que le dioxyde soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO_x), l'ammoniac (NH_3), les composés organiques volatils (COV).

La composition des particules varie fortement en fonction de la source d'émission mais également selon les processus physico-chimiques auxquels les particules sont soumises au cours du transport. Elles sont composées d'un mélange de deux fractions :

❖ Fraction carbonée :

- **matière organique** (OM), constituée de carbone et de nombreux hétéroatomes (H, O, N...). C'est une matrice complexe regroupant une multitude de composés appartenant aux grandes familles de la chimie organique (alcane, acides carboxyliques, alcools, cétones, esters, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dioxines...). Elle est à la fois d'origine primaire (anthropique : combustion dont le trafic routier, ou naturelle : pollens, débris végétaux, bactéries...) et secondaire (condensation et nucléation de COV).
- **carbone suie** (ou black carbon noté BC) est produit par la combustion incomplète de combustibles d'origine fossile et de la biomasse.

❖ Fraction inorganique :

- **Ions inorganiques** (nitrates, sulfates, carbonates, chlorures, ammonium...) **primaires** sont émis directement dans l'atmosphère comme les sels marins constitués de chlorure de sodium ou encore la composante minérale avec les poussières terrigènes. Quant aux **ions inorganiques secondaires**, ils sont formés à partir de précurseurs gazeux (ex : NO_x , SO_2 , NH_3)
- **Éléments métalliques** peuvent être émis par des sources naturelles (ex : fer, calcium, aluminium... par érosion de la croûte terrestre) ou par des sources anthropiques (ex : plomb, nickel, arsenic émis par les transports, certaines industries).

III. MOYENS MIS EN OEUVRE

III1. Appareils de mesures

a) Aéthalomètre (AE33)

L'aéthalomètre multi-longueurs d'onde (de type AE 33) (Figure 2) 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 PM2.5.

L'AE33 permet de distinguer deux principales sources de BC par mesure optique grâce à l'utilisation des caractéristiques d'absorption de ces sources : la **combustion de biomasse (wb)** et la **combustion d'hydrocarbures (ff)**. La combustion de biomasse, en plus du carbone suie, émet principalement de la matière organique dont une partie, appelée « Brown Carbon » est capable d'absorber le rayonnement lumineux dans le proche ultraviolet (autour de 400 nm).



Figure 2 : Aéthalomètre à la station Thabor à Rennes

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)

Ensuite, il est possible **d'estimer les concentrations de PM10 attribuables à ceux deux familles de sources** à partir des concentrations en BC et de coefficients issus de la littérature scientifique. Les facteurs utilisés à la station Thabor sont ceux recommandés par le LCSQA³.

$$PM_{wb} = 10 \times BC_{wb}$$

$$PM_{ff} = 2 \times BC_{ff}$$

Où **PM_{ff}** est la concentration massique des particules issues de la combustion d'hydrocarbures

PM_{wb} est la concentration massique des particules issues de la combustion de biomasse

³ Guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par Aéthalomètre multi-longueur d'onde AE33 dans l'air ambiant, LCSQA, version 2020

En plus du carbone suie, les **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). Par contre ces estimations n'intègrent pas les particules issues de l'abrasion des pneus, des freins, de la chaussée, de la remise en suspension de particules...

L'influence de l'échappement automobile sur la formation d'aérosols secondaires à partir des émissions de précurseurs gazeux (dont les NOx) n'est pas non plus intégrée.

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.

b) Spectromètre de masse (ACSM)

L'ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor) est un spectromètre de masse (Figure 3) qui permet de caractériser, en temps réel, la composition chimique des particules submicroniques non-réfractaires (PM1-NR). Le terme « non-réfractaire » désigne les espèces qui se vaporisent à une température inférieure à 600°C comme c'est le cas de la matière organique (OM), du sulfate (SO_4^{2-}), du nitrate (NO_3^-), de l'ammonium (NH_4^+) et du chlorure (Cl^-).

Cet appareil est constitué de 3 composantes principales : un système de lentilles focalise un faisceau de particules, un système de vaporisation/ionisation qui permet de vaporiser et d'ioniser par impact électronique les particules et un système de détection pour analyser la composition chimique des particules.

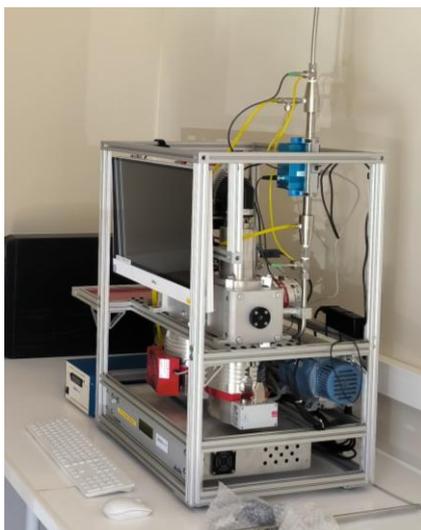


Figure 3 : ACSM à la station Thabor à Rennes

III.2. Site de mesure

Le site Thabor 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 Thabor, d'un parking d'une 10^{ème} 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.

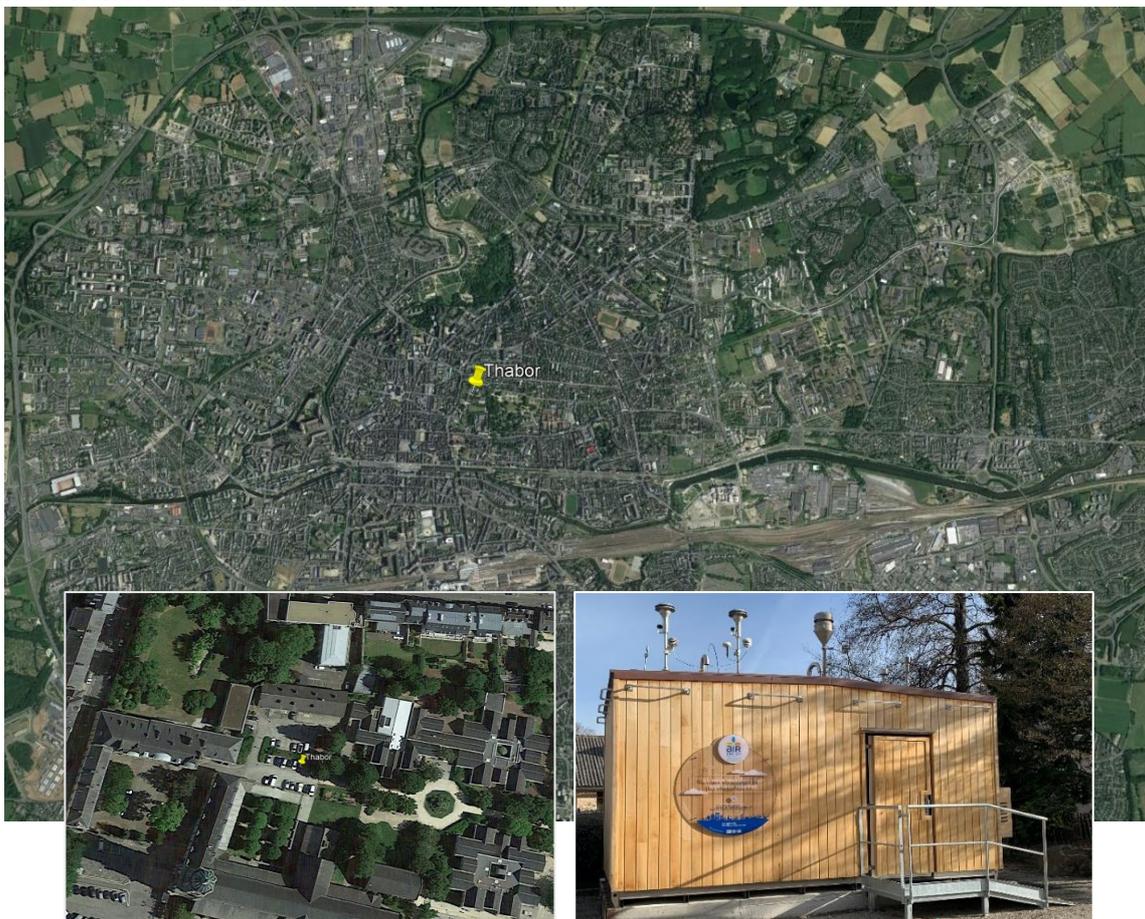


Figure 4 : Localisation de la station Thabor à Rennes

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
Réglementés	lourds
Non réglementés	PM1, Carbone suie, PM1-NR, pesticides, PUF

III3. 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 le cadre de l'étude de la composition chimique des particules il n'existe pas de seuil réglementaire à respecter.

En 2023 sur le site Thabor à Rennes, la représentativité est bonne puisque le taux couverture de l'AE33 est de 91% et celui de l'ACSM est de 80%. Le début des mesures le 25 janvier 2023 et les interventions techniques réalisées sur l'ACSM expliquent le taux de couverture plus faible pour cet analyseur.

III4. Bilan des mesures de particules à Rennes en 2023

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 2, les mesures de la station trafic Laënnec sont aussi présentées pour servir de comparaison.

Tableau 2 : Bilan réglementaire des mesures PM à Rennes en 2023

		Thabor	Laënnec	Seuils de référence			Nouvelle directive européenne (seuils visés en 2030)
		Station urbaine de fond	Station urbaine trafic	Objectif de qualité	Valeur limite	Recommandation OMS	
PM10	Moyenne annuelle (µg/m ³)	15	16	30 µg/m ³	40 µg/m ³	Recommandation OMS 2021 : 20 µg/m ³	20 µg/m ³ en moy annuelle
	Nombre de dépassements de 50 µg/m ³ en moyenne journalière	4	5	Valeur limite	50 µg/m ³		
PM2,5	Moyenne annuelle (µg/m ³)	9	9	Objectif de qualité	10 µg/m ³	Recommandation OMS 2021 : 5 µg/m ³	10 µg/m ³ en moy annuelle
				Valeur cible	20 µg/m ³		
				Valeur limite	25 µg/m ³		

En 2023, les seuils réglementaires pour les PM₁₀ et les PM_{2,5} sont respectés. Cependant les concentrations moyennes annuelles en PM_{2,5} 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 5 présente l'évolution des moyennes journalières des concentrations en PM₁₀ mesurées à Rennes en 2023. 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, à l'agriculture et à des conditions climatiques plus favorables à l'accumulation des polluants. Une forte augmentation des concentrations journalières est observée en septembre 2023 du fait d'un épisode de pollution aux poussières sahariennes présent sur tout le territoire breton.

A Rennes, plusieurs dépassements du seuil d'information/recommandation (IR) PM₁₀ (50 µg/m³) ont été mesurés :

- 4 à la station Thabor (1 en février et 3 en septembre),
- 5 à la station Laënnec (2 en février et 3 en septembre).

En Ille-et-Vilaine, 6 jours ont fait l'objet du déclenchement de procédure d'IR et d'alerte sur persistance.

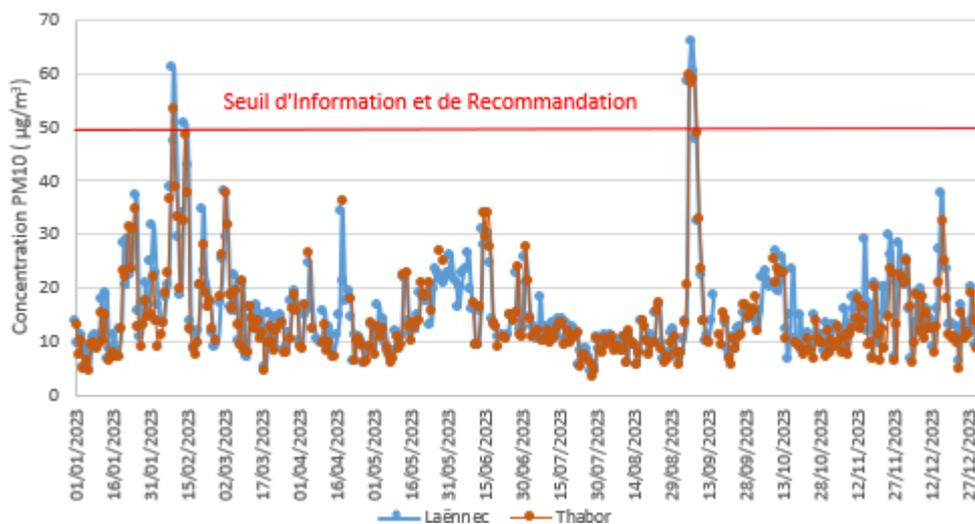


Figure 5 : Evolution journalière des concentrations en PM₁₀ à Rennes en 2023

En juillet 2023, l'arrêté préfectoral d'Ille-et-Vilaine a évolué pour inclure un seuil d'information/recommandation journalier pour les PM_{2,5} de 25 µg/m³. Ainsi, une journée de dépassement de ce seuil a été observée et déclarée auprès de la préfecture en décembre. Notons que ce sont respectivement à la station Laënnec et Thabor 11 et 12 jours de dépassement de ce seuil de janvier à avril 2023 qui n'ont pas été comptabilisés.

IV. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

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

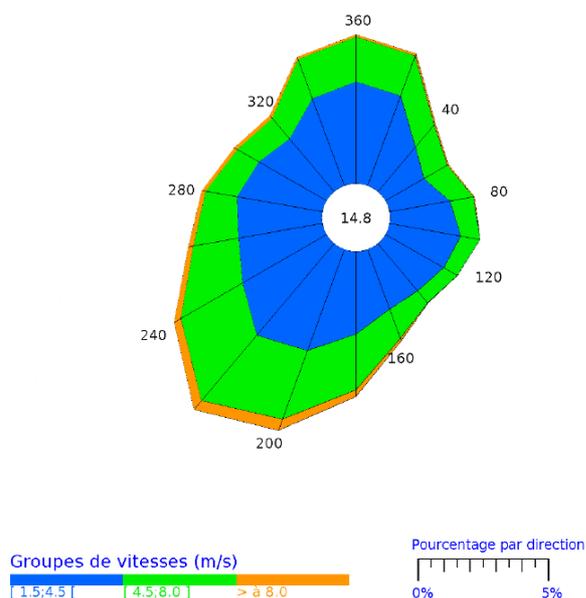
Les données météorologiques présentées dans le chapitre suivant et dans l'ensemble du rapport, sont tirées des mesures de la station Météo France de Rennes St-Jacques (code Météo France 35281001) située à moins de 10 kilomètres de la station Thabor à Rennes.

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 6). Celle-ci permet de visualiser sur une *période donnée* :

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

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



Rose des vents en 2023 à Rennes – St Jacques

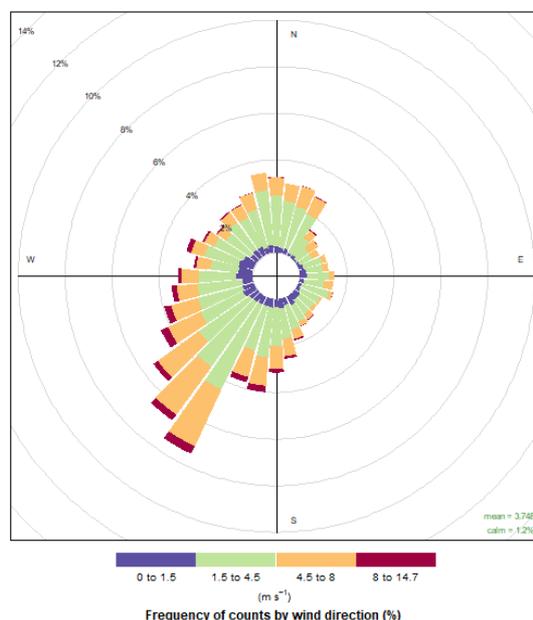


Figure 6 : Normale de rose des vents et rose des vents en 2023 à Rennes St-Jacques (Météo France)

En 2023, les vents dominants proviennent d'un large secteur Sud-Ouest et sont majoritairement compris entre 1,5 m/s et 8 m/s. Les vents les plus forts (>8 m/s) sont issus du même secteur. Ainsi l'année 2023 ne présente pas de particularité significative, la situation est représentative de la normale de rose des vents observée de 1991 à 2020.

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 2023 sont comparés aux normales (1991 - 2020) dans la Figure 7.

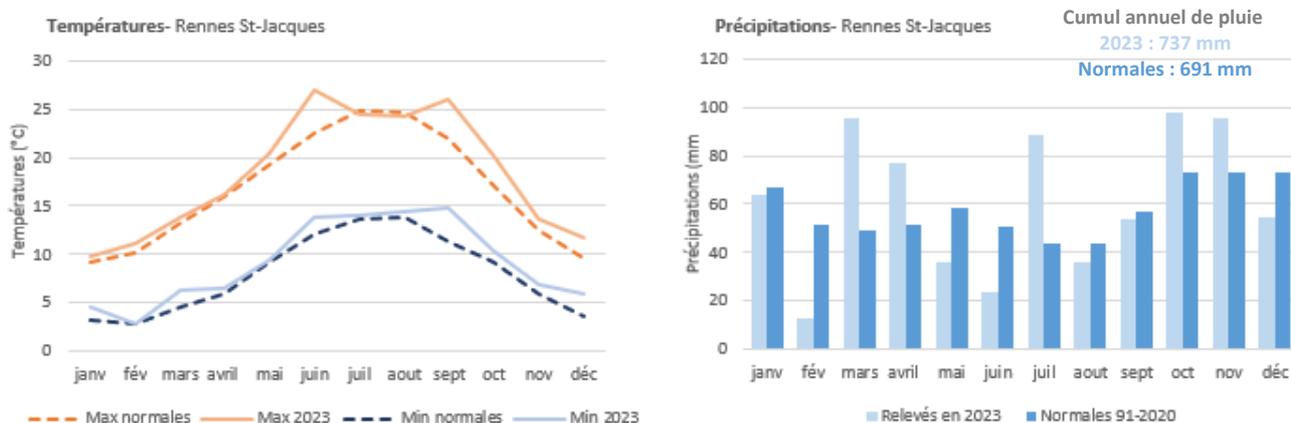


Figure 7 : Pluviométrie, températures normales et relevées en 2023 à la station météo France Rennes St-Jacques

A l'exception du mois de février 2023 qui présente la même température minimale moyenne que la normale, sinon tout au long de l'année 2023 les températures minimales mensuelles sont supérieures aux normales. De même, les températures maximales moyennes mensuelles sont supérieures aux normales pour tous les mois (jusqu'à +4°C pour le mois de juin et septembre) sauf les mois de juillet et août avec des températures maximales inférieures respectivement de -0,3 et -0,4 °C aux normales mensuelles.

Les cumuls de précipitation mensuels relevés en 2023 sont fortement variables par rapport aux normales mensuelles. Certains mois de 2023 (février, mai, juin, août et décembre) enregistrent des déficits de précipitation fortement marqués par rapport à la normale. A l'inverse, les mois de mars, avril, juillet, octobre et novembre 2023 ont été très pluvieux. Au total le cumul de précipitation en 2023 est supérieur de 46 mm au cumul moyen annuel relevé dans le passé (1991 – 2020).

Les vents enregistrés majoritairement de sud-ouest sont cohérents avec la normale de rose des vents. Dans l'ensemble, à Rennes, l'année 2023 a été plus chaude que par le passé. De même, les précipitations ont été plus importantes notamment durant le printemps et l'automne 2023.

V. RESULTATS

V1. Carbone suie

a) Analyse statistique en 2023

Les médianes, moyennes annuelles et les maximums horaires et journaliers pour le BC, le BCff, BCwb et les PM liées à ces sources de combustion sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Médiane, moyennes annuelles et maximums horaires et journaliers obtenus par l'AE33 à Thabor en 2023

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	BC	BCff	BCwb	PMff	PMwb
Moyenne annuelle	0,5	0,33	0,16	0,7	1,6
Médiane	0,32	0,23	0,07	0,5	0,7
Max horaire	9,80	5,04	8,46	10,1	84,6
Max journalier	3,22 16/12/2023	1,76 08/10/2023	2,25 15/12/2023	3,5 08/10/2023	22,5 15/12/2023

A la station urbaine Thabor à Rennes en 2023, la concentration moyenne annuelle en carbone suie est de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les 3 paramètres BC, BCff et BCwb, les concentrations médianes sont inférieures aux concentrations moyennes annuelles. L'écart entre ces 2 valeurs indique une répartition inégale des concentrations mesurées. Des concentrations ponctuellement élevées font augmenter la moyenne.

La combustion d'hydrocarbures contribue en moyenne à 66% du BC mesuré alors que la combustion de biomasse représente 33% du BC.

En moyenne sur l'année 2023, les **sources de combustion expliquent 16% de l'origine des PM10** mesurées (11% lié à la combustion de biomasse et 5% lié à la combustion d'hydrocarbures) au niveau de la station Thabor à Rennes.

La comparaison avec d'autres régions en France pour l'année 2023 (Figure 8) met en avant une **moyenne en BC à Thabor parmi les plus faibles des stations de mêmes typologies**. Ce constat avait déjà été réalisé lorsque les mesures étaient réalisées à la station Pays-Bas⁴. Notons que ce sont les stations trafic qui enregistrent les plus fortes concentrations moyennes annuelles.

⁴ Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35) de 2019 à 2022, Air Breizh, juin 2023

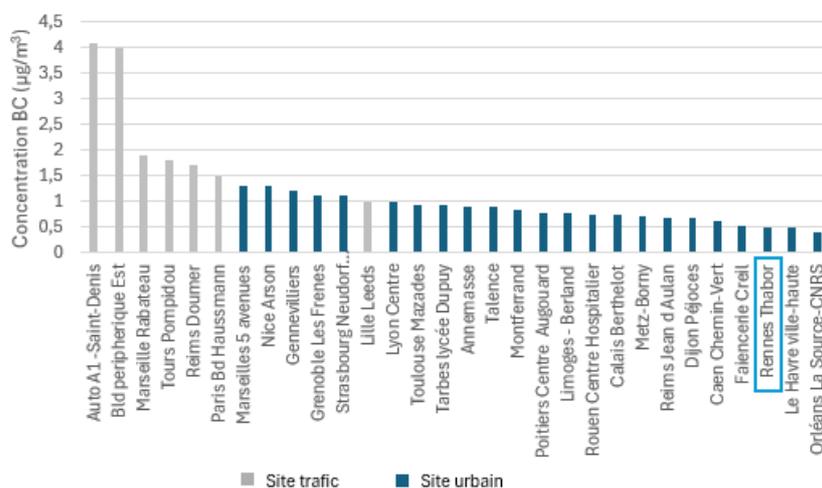


Figure 8 : Moyennes annuelles des concentrations en BC mesurées en France (Source Géo'd'air) en 2023

b) Evolution interannuelle

Les concentrations moyennes annuelles en BC, BCff et BCwb mesurées à Rennes à la station Pays-Bas de 2019 à 2022 puis à la station Thabor en 2023 sont présentées dans la Figure 9.

Les mesures faites à la station Thabor sont cohérentes avec les résultats obtenus durant 4 années consécutives à la station Pays-Bas de 2019 à 2022.

En comparaison, la **moyenne annuelle 2023 du BC à Thabor est stable par rapport à celle de Pays-Bas** en 2022. Le BCff à la station Thabor est légèrement inférieur (-11%) par rapport à la moyenne annuelle 2022 à la station Pays-Bas. Même si 2023 a été une année plus chaude que dans le passé (et plus pluvieuse), le BCwb montre une légère augmentation +18% à la station Thabor. Ces constats sont en accord avec les alentours de la station Thabor qui présentent moins d'habitat collectif, plus de maisons individuelles (chauffage au bois potentiel) et moins de trafic routier (axe routier rue du Général Maurice Guillaudot peu impactant).

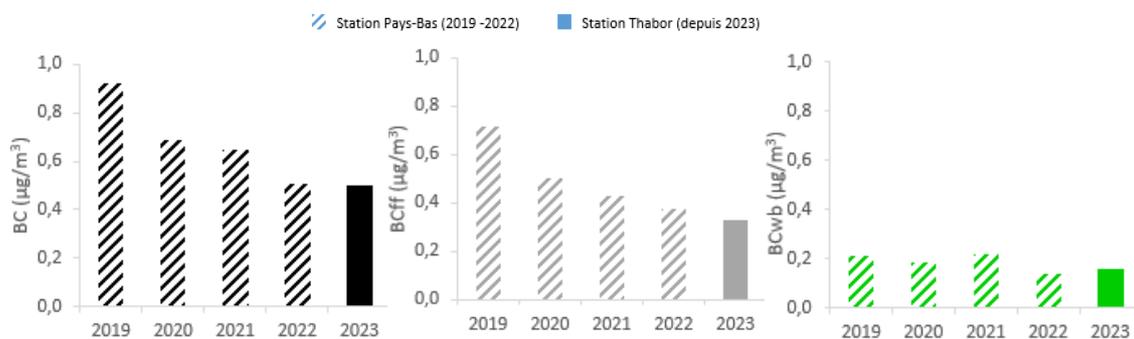


Figure 9 : Suivi pluriannuel des concentrations en BC, BCff et BCwb à Rennes de 2019 à 2023

c) Evolution mensuelle

La Figure 10 permet de visualiser les moyennes mensuelles en 2023 des concentrations en BCwb et BCff. La **concentration en BC** évolue au fil des saisons. En période hivernale les concentrations sont plus élevées et elles sont plus faibles de mars à août. Les conditions météorologiques 2023 expliquent certaines variations mensuelles notamment le mois de février, présentant des températures proches des normales et ainsi le niveau mensuel en BC le plus élevé.

Les niveaux de **BCwb** sont **plus élevés d'octobre à février** (manque de données en janvier). La combustion de biomasse est liée essentiellement au **chauffage résidentiel au bois**, c'est pourquoi cette fraction est très faible en période chaude. En effet, de mai à septembre 2023, la contribution du chauffage au bois dans les concentrations de BC (BCwb) est inférieure à 20%.

La fraction issue de la combustion d'hydrocarbures, **BCff**, présente **moins de variation saisonnière**. Cette fraction provient en majeure partie du **trafic routier** qui est une source présente tout au long de l'année (la contribution de cette source dans le BC est comprise entre 48% et 86%). L'augmentation des concentrations, visible en période froide, s'explique par les conditions météorologiques favorables à une accumulation des polluants dans l'atmosphère avec des masses d'air stables. De plus, rappelons que les mois de mars, avril et juillet ont été bien plus pluvieux que les normales ce qui a pour impact de faire baisser les concentrations dans l'atmosphère.

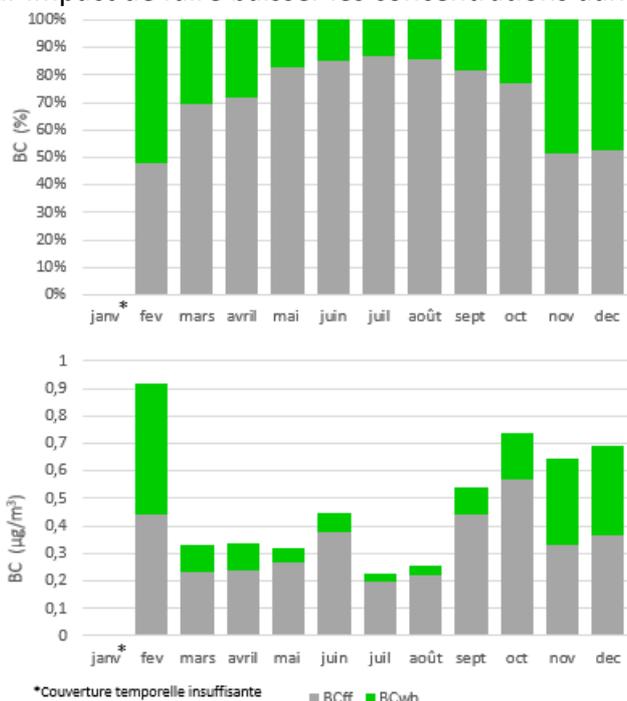


Figure 10 : Variation des moyennes mensuelles de 2023 en BCwb et BCff (en contribution dans BC et en concentration)

d) Evolution journalière

La Figure 11 présente le suivi journalier des concentrations en BCwb et BCff en 2023 à la station Thabor. Le **BC est constitué majoritairement de BCff**. Les **niveaux en BCff sont relativement stables** tout au long de l'année même si quelques augmentations ponctuelles sont constatées (notamment

début octobre en lien avec l'influence probable du festival organisé au niveau du parc Thabor). Une **forte variation du BCwb** est constatée. La fraction de BC issue de la combustion de biomasse augmente en période hivernale en lien avec l'utilisation du chauffage au bois.

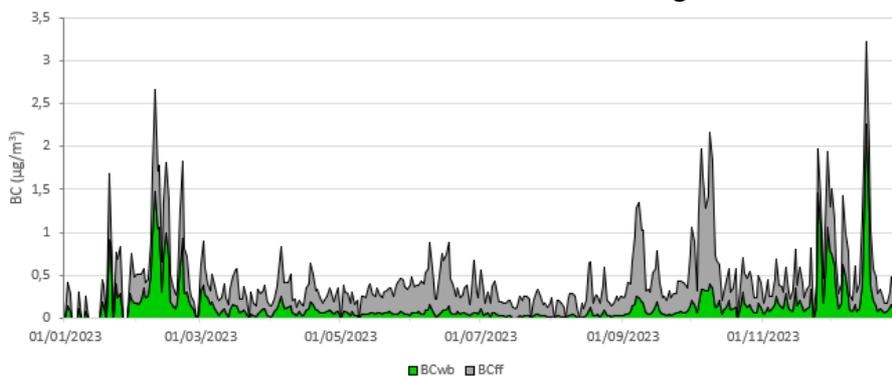


Figure 11 : Evolution des concentrations journalières en BCff et BCwb en 2023 à la station Thabor

L'évolution des concentrations journalières en particules fines (PM10 et PM2,5) et en PM10 attribuables aux sources de combustion de biomasse (PMwb) et d'hydrocarbures (PMff) sont représentées sur la Figure 12. **L'influence saisonnière est marquée pour la fraction des PM10 issues de la combustion de biomasse (PMwb)**. Les concentrations en PMwb sont plus élevées en février, et fin d'année 2023 avec l'utilisation du chauffage au bois en période froide.

Les concentrations en particules liées à la combustion d'hydrocarbure (PMff) sont relativement stables tout au long de l'année.

L'épisode de pollution particulaire du 5 au 7 septembre présente des concentrations en PM10 nettement supérieures aux PM2,5 (ratio PM2,5/PM10 inférieur à 40%) ce qui confirme un épisode lié à des poussières en provenance du Sahara et peu influencé par des phénomènes de combustion. L'impact des fortes précipitations notamment en novembre est visible puisque les concentrations en particules sont faibles à cette période.

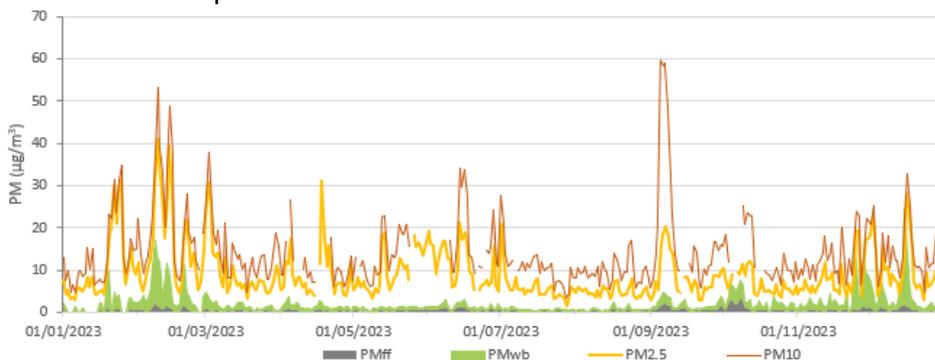


Figure 12: Evolution temporelle des concentrations moyennes journalières en PM10, PM2,5 et des fractions issues de la combustion de biomasse (PMwb) et de la combustion d'hydrocarbures (PMff)

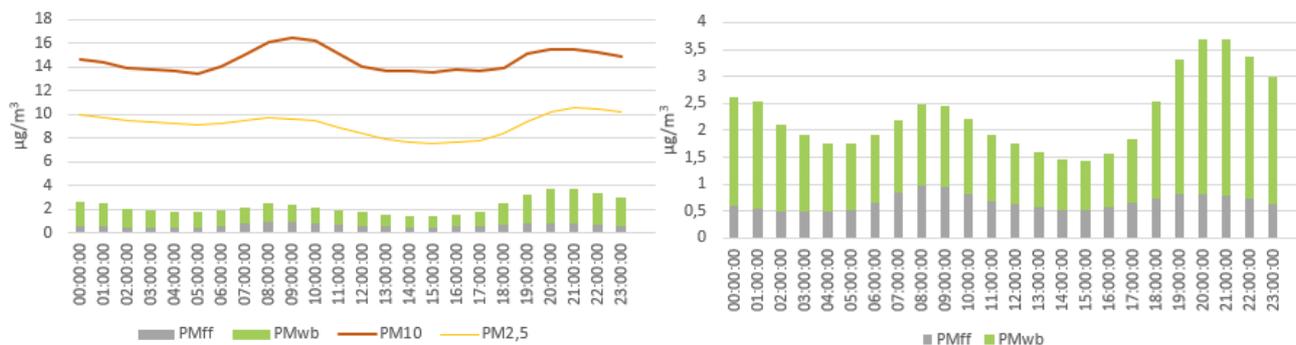


Figure 13 : Profil journalier à Thabor des PM10, PM2,5 et des 2 fractions (PMff et PMwb) et zoom sur la variation journalière PMff et PMwb

La **variation journalière** (en heure TU) des PMff et PMwb est comparée avec les niveaux de PM10 et PM2,5 (Figure 13). La fraction des PM10 issues de la combustion d'hydrocarbures (PMff) présente 2 légères augmentations liées aux heures de pointe (7h-9h et 18h-20h). La concentration maximale est atteinte à 8h avec $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La fraction des particules issues de la combustion de biomasse (PMwb) est plus importante durant la soirée (18h-23h).

A la station urbaine Thabor, à Rennes en 2023, les PMff et PMwb représentent environ 5% et 11% des PM10 en moyenne journalière. La station Thabor est faiblement impactée par les phénomènes de combustion.

La **variation annuelle du BC** est marquée avec des concentrations plus importantes en période froide. Cela s'explique par l'augmentation du BCwb en lien avec l'utilisation du chauffage au bois avec la baisse des températures.

Bien que l'influence des sources de combustion soit faible, la contribution des PMwb dans les PM10 est plus importante que celle des PMff dans les PM10. La variation journalière des PMff présente 2 augmentations liées aux heures de pointe du trafic routier et celle des PMwb un pic dans la soirée.

e) Origine du carbone suie en 2023

Les roses de pollution de BCff et BCwb pour la station Thabor sont présentées dans la Figure 14. La concentration en BC est présentée en échelle de couleur (rouge pour la concentration plus élevée et bleu pour la concentration plus faible). La direction du vent est indiquée par N (nord), E (Est), S (sud) et W (ouest) sur les axes. La vitesse du vent est indiquée par l'axe et les cercles du graphe (entre 0 et 14 m/s). Les données relatives aux conditions des vents (vitesse et directions) utilisées pour tracer ces roses de pollution sont celles mesurées au niveau de la station météo France Rennes St-Jacques. Lorsque les concentrations plus fortes sont obtenues avec des vitesses de vent élevées, cela implique une source régionale, voire un import à plus longue distance de particules. Au contraire, s'ils sont centrés avec des vitesses de vent faibles (0-4 m/s), cela indique une augmentation des niveaux liée à des conditions météorologiques peu favorables à la dispersion des émissions locales de polluants, donc une origine de la pollution plus locale.

Les **plus fortes concentrations en BCff** sont observées par vents calmes (< 2m/s) et proviennent de l'ensemble des directions, laissant suggérer une influence relativement homogène autour de la station.

Les **concentrations les plus importantes en BCwb** sont également observées par vents très faibles (< 2m/s), avec toutefois des vents de secteur Sud-Ouest supérieurs à 4 m/s légèrement influents.

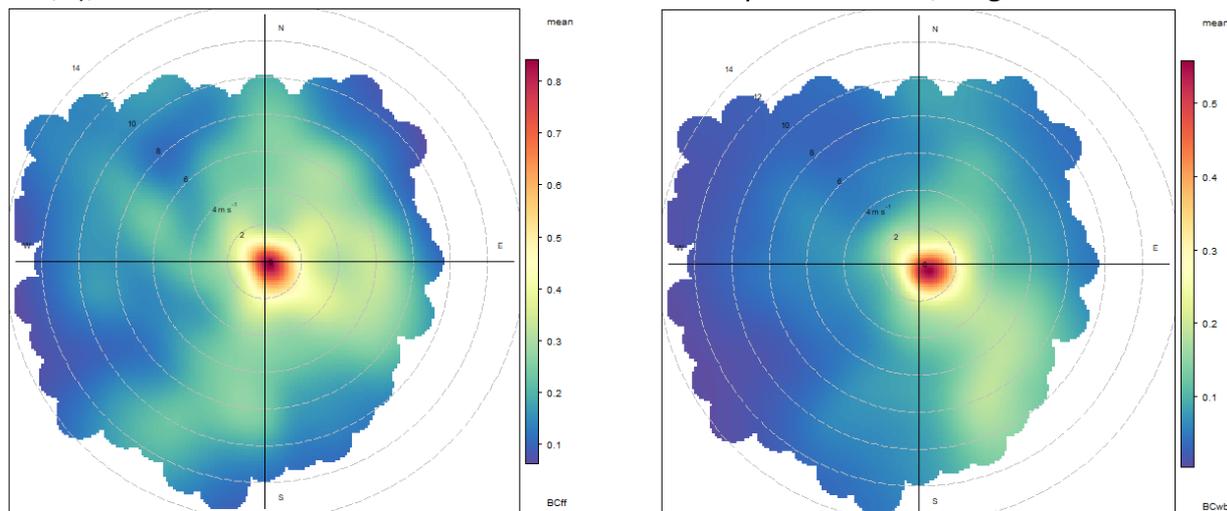


Figure 14 : Rose de pollution de BCwb et BCff en 2023 à la station Thabor

V2. Composition chimique

Cette partie exploite les concentrations en matière organique et ions majeures obtenues par le spectromètre de masse (ACSM) installé sur le site de Thabor. Pour rappel, il permet de suivre les espèces chimiques majeures des particules submicroniques non-réfractaires (PM1-NR) : ion chlorure (Cl⁻), ion ammonium (NH₄⁺), ion nitrate (NO₃⁻), ion sulfate (SO₄²⁻) et matière organique (OM).

a) Analyse statistique 2023

La moyenne annuelle, le maximum horaire et journalier des espèces chimiques des PM1-NR, à la station Thabor en 2023, sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Moyennes annuelles, maxima horaires et journaliers des espèces chimiques des PM1-NR en 2023 à la station Thabor à Rennes

µg/m ³	OM	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PM1-NR
Moyenne annuelle	3,3	0,5	1,2	0,9	0,01	6,5
Médiane	2,0	0,2	0,3	0,7	0,01	3,9
Max horaire	73,3	8,1	27,2	10,1	1,5	86,6
Max journalier	22,0 16/12/2023	5,5 09/02/2023	13,8 02/03/2023	4,2 03/03/2023	0,1 01/12/2023	32,0 09/02/2023

La concentration en PM1-NR mesurée en 2023 à la station Thabor, de $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, est cohérente avec la concentration massique PM1 mesurée par l'analyseur en continu (FIDAS) de $6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la même période (cf la validation des données ACSM en annexe). Les médianes sont toutes inférieures aux moyennes annuelles ce qui traduit des variations ponctuelles des concentrations mesurées. Les résultats obtenus en 2023 à Thabor sont proches de ceux rencontrés en 2020 à la station Pays-Bas⁵. En 2021 et 2022 les données n'ont pas été exploitées du fait d'un manque de représentativité des données (taux de couverture faible).

b) Evolution temporelle

Les variations mensuelles en concentration et en contribution dans les PM1-NR sont présentées dans la Figure 15. L'évolution journalière des concentrations et des contributions dans les PM1 des différents composés mesurés par ACSM et AE33 est représentées sur la Figure 16. La concentration en EC est estimée à partir de la mesure de BC via l'AE33 et d'un facteur multiplicatif (cf annexe VII.2). Les concentrations de chaque espèce sont variables au cours de l'année. Le mois de février se démarque avec des concentrations plus élevées du fait des conditions météorologiques proches de normales de saison vis à vis des températures hivernales et d'une pluviométrie faible.

La **matière organique** est la première espèce contributrice dans la masse des PM1-NR mesurées par ACSM (environ 40 à 70% à l'échelle mensuelle). Les plus fortes concentrations sont observées en février, octobre, novembre et décembre. Les concentrations augmentent du fait des émissions de sources primaires telles que la combustion de biomasse (chauffage bois). Cependant la matière organique est présente toute l'année puisqu'il se forme des aérosols organiques secondaires à partir de composés organiques biogéniques.

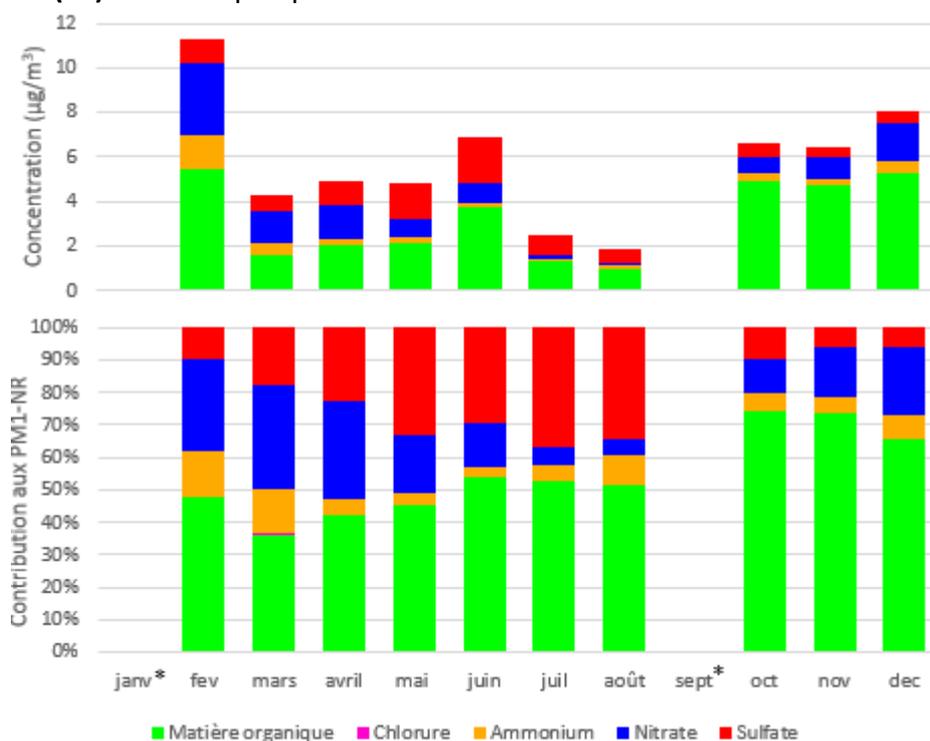
Le **nitrate (NO_3^-)** est plus important en concentration et en contribution au printemps (30% des PM1-NR en mars-avril 2023) et en hiver. Les plus fortes concentrations sont mesurées en février/mars ($13,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 02/03). Il provient de l'oxydation des oxydes d'azotes (NO_x) qui sont émis par les procédés de combustion et principalement par les transports routiers. Le nitrate est stabilisé par association avec l'ammoniac (NH_3) émis principalement par l'agriculture (via l'élevage et l'utilisation d'engrais azotés) pour former le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3). C'est une espèce semi-volatile en équilibre entre la phase gazeuse et la phase particulaire et sa répartition entre ces 2 phases dépend de la température et l'humidité⁶. Ainsi, la concentration en nitrate particulaire est fonction des conditions météorologiques et des précurseurs (NO_x et NH_3). Les températures estivales (supérieures à 15- 20°C) limitent la formation de nitrate d'ammonium. En revanche, à partir de février/mars, les épisodes anticycloniques, auxquels s'ajoutent les épandages agricoles, favorisent la formation de nitrate d'ammonium dans les PM. Les contributions les plus fortes en **ammonium (NH_4^+)** dans les PM1-NR sont visibles au printemps (14% en mars 2023).

⁵ Caractérisation des particules à Rennes – Bilan 2020, Air Breizh, 2022

⁶ Variations spatio-temporelles des espèces chimiques majeures et de composés traces des PM10 en France métropolitaine, LCSQA, 2017

Les ions **sulfate** (SO_4^{2-}) présentent les plus fortes concentrations et contributions aux PM1-NR de mai à août (environ 30 à 35%). Les conditions d'ensoleillement sont propices à l'oxydation du SO_2 en SO_4^{2-} qui se transforme ensuite en acide sulfurique (H_2SO_4) ou en sulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Ce dernier est stable en phase particulaire, il peut donc être transporté sur de longues distances. Seul le sulfate non marin est considéré, le sulfate d'origine marine (sulfate marin) est mesuré notamment lors d'analyse différée sur filtre.

Les ions **chlorure** (Cl^-) sont très peu présents au niveau de la station Thabor.



*Couverture temporelle insuffisante

Figure 15 : Evolutions mensuelles (en concentration et contribution) des espèces mesurées par l'ACSM à la station Thabor en 2023

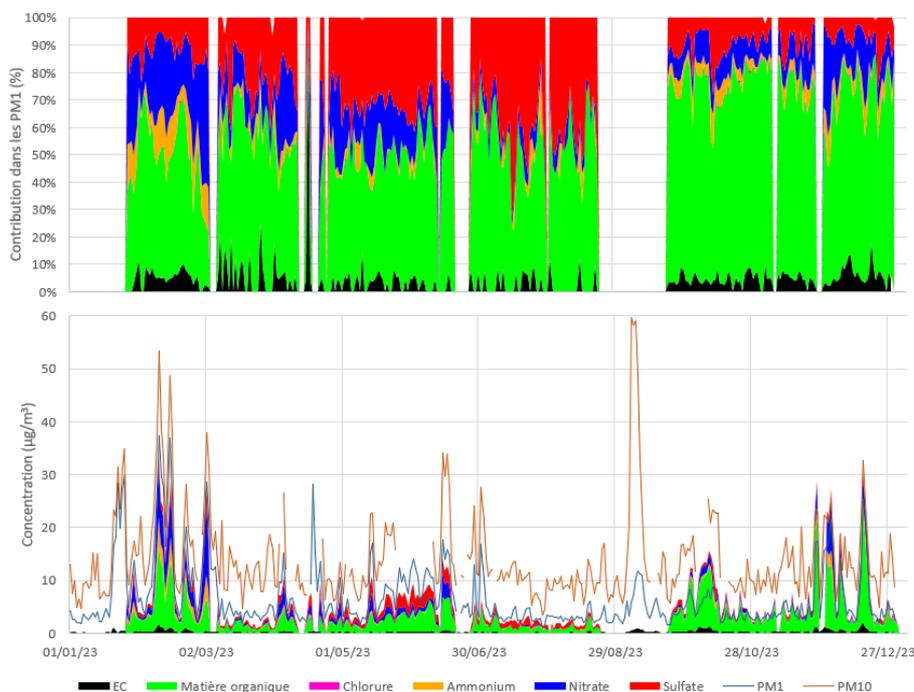


Figure 16 : Evolution journalière des concentrations en matière organique et ions majeurs et leurs contributions aux PM1 en 2023 à la station Thabor

La Figure 17 illustre les évolutions des concentrations en matière organique et en ions majeurs au cours d'une journée. Les valeurs les plus élevées en nitrate sont mesurées aux heures les plus froides (tôt le matin) et à l'inverse les niveaux les plus faibles sont atteints l'après-midi. Ce profil journalier traduit le caractère semi-volatile du nitrate d'ammonium. En revanche, le sulfate d'ammonium étant stable en phase particulaire, les variations des concentrations en sulfate sont faibles au cours de la journée. La matière organique a un profil moyen journalier similaire à celui rencontré pour les PMwb, avec des niveaux qui augmentent dans la soirée. La concentration en matière en organique est fortement influencée par la combustion de biomasse et notamment quand les chauffages au bois sont mis en route.

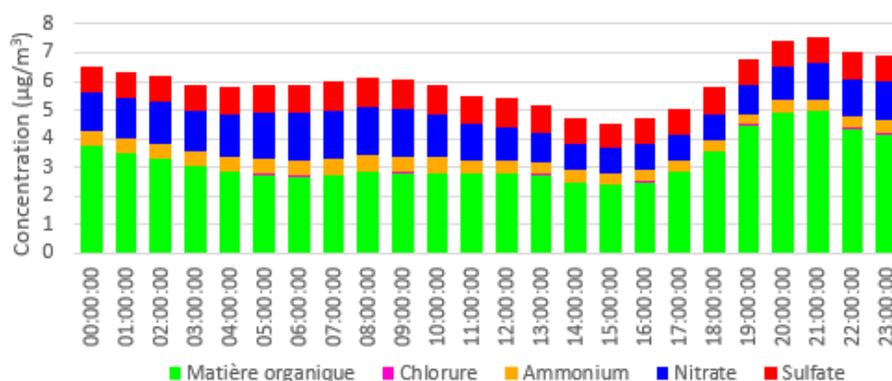


Figure 17 : Profils journaliers moyens des 5 espèces majeures mesurées dans les PM1 par ACSM en 2023 à la station Thabor

c) Origines des espèces majeures

Les concentrations mesurées dans l'air ambiant sont influencées par les conditions météorologiques. Les roses de pollution permettent de localiser les différences de concentrations d'un polluant grâce à l'échelle de couleur (rouge pour la concentration plus élevée et bleu pour la concentration plus faible). La direction du vent est indiquée par N (Nord), E (est), S (sud) et W (ouest) sur les axes. La vitesse du vent est indiquée par l'axe et les cercles du graphe (entre 0 et 15 m/s). Les données relatives aux conditions des vents (vitesse et direction) utilisées pour tracer ces roses de pollution sont celles mesurées au niveau de la station météo France Rennes St-Jacques.

Les roses annuelles de pollution pour la matière organique (MO), le sulfate (SO_4^{2-}), le nitrate (NO_3^-), l'ammonium (NH_4^+) et le chlorure (Cl^-) pour la station Thabor en 2023 sont présentées dans la Figure 18. Lorsque les concentrations plus fortes sont obtenues avec des vitesses de vent élevées, cela implique une source régionale, voire un import à plus longue distance de particules. Au contraire, s'ils sont centrés avec des vitesses de vent faibles (0-4 m/s), cela indique une augmentation des niveaux liée à des conditions météorologiques peu favorables à la dispersion des émissions locales de polluants, donc une origine de la pollution plus locale.

La matière organique (**OM**) présente les plus fortes concentrations par vents faibles (<3 m/s), elle semble issue de sources locales (chauffage résidentiel au bois). Des vents de sud-est d'environ 10 m/s présentent des concentrations de l'ordre de 4-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ supposant un apport plus lointain. L'ammonium (**NH₄⁺**) et le nitrate (**NO₃⁻**) présentent des roses de pollution similaires avec les concentrations les plus élevées par vents faibles (< 4m/s) probablement lié à des sources locales. Le secteur nord-est, avec des vitesses de vents d'environ 5 m/s laisse penser à des sources au nord-est de Thabor.

Les ions sulfates (**SO₄²⁻**) proviennent de sources non locales d'un large secteur nord-est par vents compris entre 3 et 8 m/s. Le sulfate d'ammonium étant stable en phase particulaire, il peut être transporté sur de longues distances. Le sulfate est un marqueur des masses d'air ayant subi un transport.

Les ions chlorure (**Cl⁻**) sont issues d'une part de sources lointaines car de fortes concentrations sont observées par vent de sud-ouest de plus de 10 m/s et une influence locale semble également contribuer. Notons que les concentrations de cette espèce chimique sont très faibles au niveau de la station Thabor à Rennes et donc que les évolutions en fonction des directions de vent sont peu significatives.

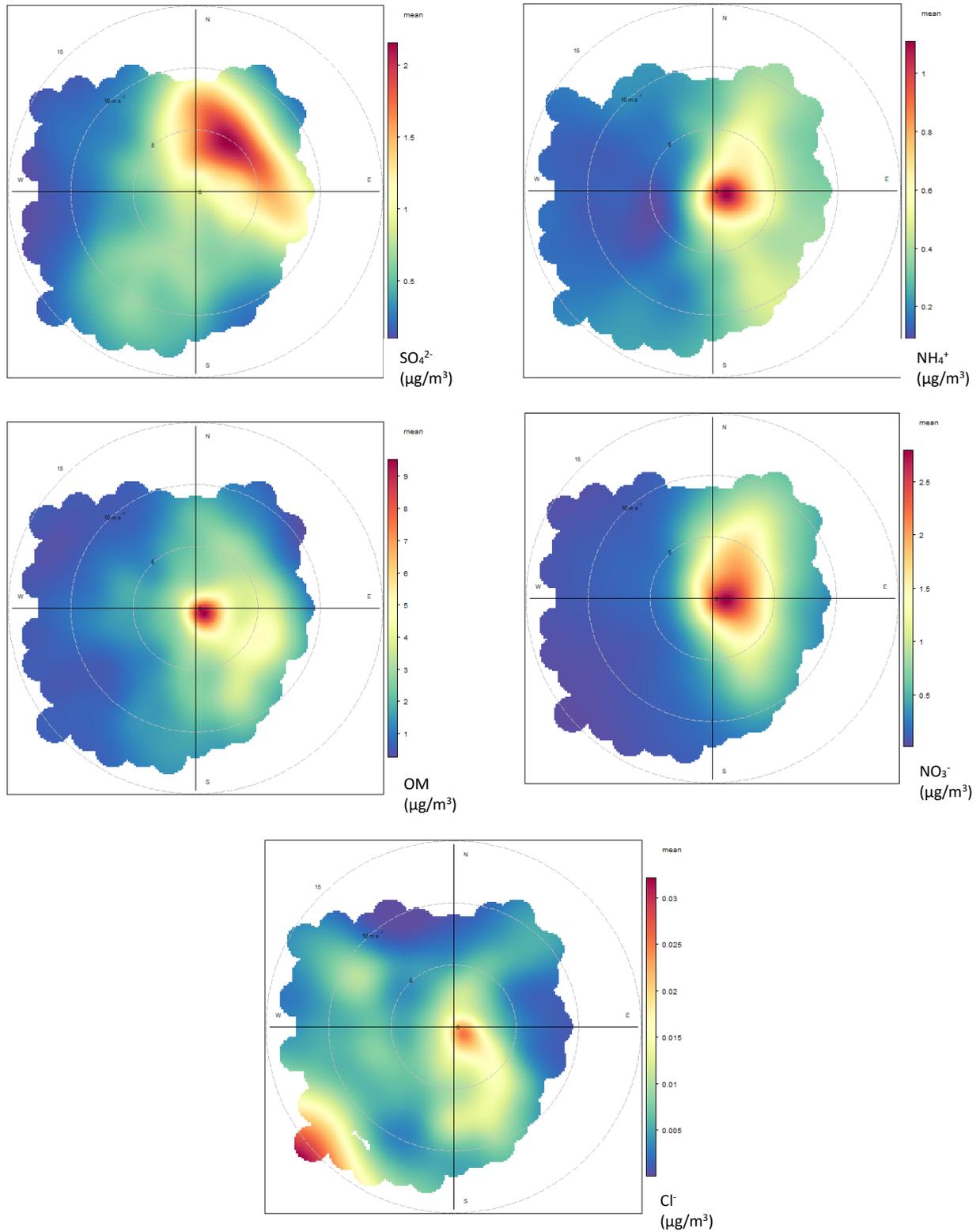


Figure 18 : Rose de pollution de la matière organique et des ions majeurs pour la station Thabor de Rennes en 2023

VI. CONCLUSION

A retenir

La nouvelle station urbaine de fond, Thabor, située à proximité du parc du même nom, dans le centre-ville de Rennes est, depuis début 2023 la station de référence régionale pour la mesure des particules et l'analyse de leur composition. Ce document fait le bilan du suivi en 2023 :

- du carbone suie et de la quantification de la contribution des 2 principales sources de combustion ; la combustion de biomasse et la combustion d'hydrocarbures,
- de la composition chimique des particules (PM1-NR) avec la matière organique et les ions majeurs (NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} et Cl^-).

Les niveaux de particules à la station Thabor varient au cours de l'année et sont influencés par **différentes sources**.

La contribution du **chauffage au bois** est visible avec le carbone suie (BC) issu de la combustion de biomasse (BCwb) ainsi qu'un apport en matière organique (OM). Une forte variation saisonnière du BCwb est constatée avec une augmentation en période hivernale en lien avec l'utilisation du chauffage au bois. L'évolution journalière des particules liées à la combustion de biomasse (PMwb) et de la matière organique est similaire et se caractérise par des niveaux plus élevés au cours de la soirée avec la mise en route du chauffage résidentiel au bois. Les particules émises par le chauffage au bois proviennent de sources locales comme le démontre les roses de pollution de la matière organique et du BC. La contribution moyenne de la combustion de biomasse dans les PM10 à la station Thabor est de 11% en 2023.

Le **trafic routier** émet du carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures (BCff), de la matière organique et contribue aux émissions d'oxydes d'azote, précurseur de particules inorganiques secondaires tel que le nitrate d'ammonium. Le BCff constitue principalement le BC (66%) et varie peu au cours de l'année. La variation journalière des particules issues de la combustion d'hydrocarbures (PMff) présentes 2 légères augmentations liées aux heures de pointe du trafic routier. L'influence locale est marquée pour cette source qui est malgré tout peu présente aux alentours de la station. La contribution moyenne du trafic routier dans les niveaux de PM10 en 2023 est de 5% au niveau de la station Thabor.

Dans l'ensemble, les concentrations en BC mesurées à la station Thabor sont faibles comparées à d'autres stations urbaines en France traduisant une **influence des phénomènes de combustion relativement faibles en 2023**. Ce constat est le même que celui réalisé les années précédentes au niveau de la station Pays-Bas.

Les **particules inorganiques secondaires** peuvent contribuer fortement aux concentrations mesurées en particules fines notamment en fin d'hiver, début de printemps. Elles sont représentées par 3 espèces (sulfates, nitrates et ammonium) qui peuvent contribuer jusqu'à 60% des PM1-NR en mars 2023 par exemple. En période froide c'est le nitrate d'ammonium qui se forme du fait des conditions météorologiques favorables et des émissions de précurseurs gazeux que sont l'ammoniac (via les

épandages agricoles notamment fin d'hiver/début printemps) et les oxydes d'azote (trafic routier). En été, les concentrations en nitrate sont plus faibles et c'est le sulfate d'ammonium qui est présent et potentiellement issu d'un large secteur Nord-Est. Le sulfate d'ammonium est plus stable dans l'atmosphère et peut être transporté sur de longues distances.

Perspectives

La station Thabor est équipée depuis début 2024 d'un compteur de particules qui va permettre de connaître la concentration des particules ultrafines (PUF). Leur taille est inférieure à 0,1 μm . Il s'agit actuellement des particules les plus petites que l'on puisse mesurer et observer. En raison de leur toxicité liée à leur taille et leur composition, l'Anses recommande le suivi et la surveillance pérenne de ces PUF. Cela va apporter des informations complémentaires et contribuer à une meilleure compréhension des sources de particules.

Début 2024, la mesure du BC en station trafic a été mise en place grâce à l'installation d'un analyseur AE33 au niveau de la station Laënnec à Rennes. L'analyse de la répartition spatiale de carbone suie va ainsi être réalisée en comparant les niveaux entre les 2 typologies de stations à Rennes. Les connaissances sur la contribution des phénomènes de combustion liée au trafic routier dans les particules du centre urbain de Rennes vont s'affiner.

De plus, une étude ponctuelle sur la contribution des émissions du chauffage au bois dans les particules a été menée début 2024 au niveau de 3 sites de mesures dans Rennes Métropole. Cette étude est financée par Rennes Métropole. Les résultats seront mis en ligne sur le site internet d'Air Breizh.

VII. ANNEXES

VII.1. Estimation du Brown Carbon

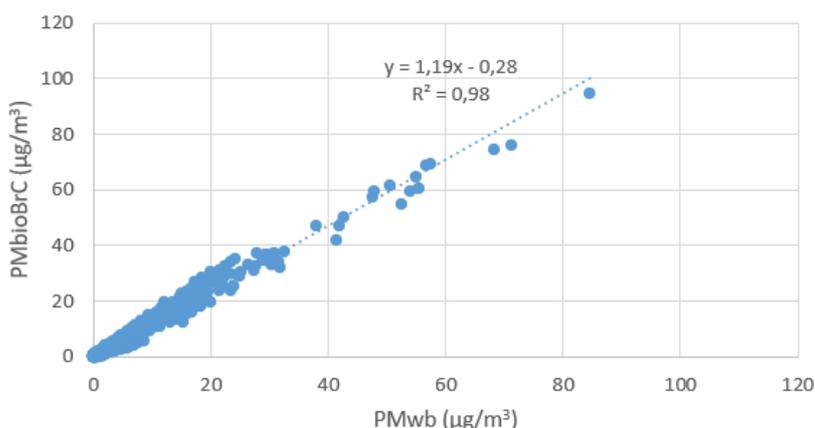
La **combustion de biomasse** émet principalement de la matière organique (carbone organique) dont une partie est capable d'absorber le rayonnement lumineux dans le proche ultraviolet. Cette fraction organique est appelée **Brown Carbon**.

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

$$PM_{bioBrC} \approx 5,735 \times (BC1 - BC7)$$

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

Cette méthodologie appliquée aux données 2023 à la station Thabor présente une très bonne corrélation avec la méthode classique décrite dans la section III.1.a).



VII.2. Validation des données ACSM

a) Comparaison aux données PM1 (Fidas)

La concentration massique des PM1-NR est calculée à partir de la somme des différents composés mesurés par l'ACSM (OM , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Cl^-). La concentration en carbone élémentaire (EC) est estimée à partir de la concentration en carbone suie (BC) mesurée par l'AE33 en divisant par un facteur 1,6 selon la recommandation du LCSQA⁷.

$$PM1-NR (ACSM) = [OM] + [NO_3^-] + [SO_4^{2-}] + [NH_4^+] + [Cl^-] \quad \mathbf{(1)}$$

$$EC = BC / 1,6 \quad \mathbf{(2)}$$

⁷Guide méthodologique pour la mesure de la composition chimique des particules submicroniques non réfractaires (NR-PM1) par Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM), LCSQA, 2016

Il est ainsi possible de comparer la concentration en PM1 reconstituées (AE33+ACSM), somme des équation (1) et (2) avec la concentration massique des PM1 mesurées par fidas (analyseur en continu pour la mesure de la concentration massique en PM).

Le coefficient de détermination (R^2) est égal à 0,8. Cette comparaison permet de valider les mesures de l'ACSM.

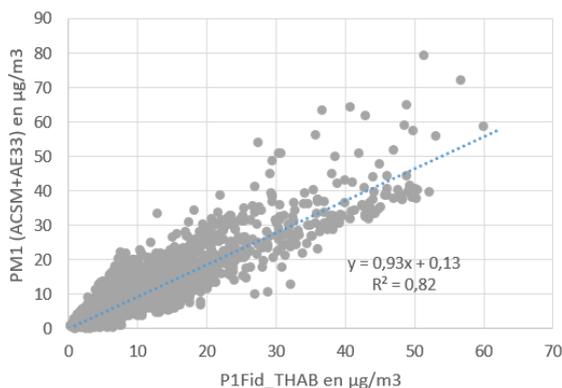


Figure 19 : Comparaison des données horaires (ACSM + AE33) avec les PM1 mesurées par fidas à la station Thabor en 2023

b) Balance ionique

Dans les espèces inorganiques mesurées par l'ACSM, il y a 3 anions (NO_3^- , SO_4^{2-} et Cl^-) et un cation (NH_4^+). En considérant que dans l'atmosphère les particules sont neutres et que les espèces sont majoritairement sous la forme NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ et NH_4Cl , il est possible de vérifier que la concentration d'ammonium mesurée est proche de la concentration en ammonium prédit :

$$\text{NH}_4^+ \text{ prédit} = 18 \times ([\text{NO}_3^-]/62 + 2 \times [\text{SO}_4^{2-}]/96 + [\text{Cl}^-]/35,45)$$

La corrélation entre le NH_4^+ mesuré et NH_4^+ prédit, présentée dans la Figure 20 est satisfaisante (pente de 0,9 et R^2 de 0,7). En 2023, 2 étalonnages ont été réalisés, un premier en janvier lors de l'installation dans la nouvelle station, puis un deuxième en fin d'année suite au changement de filament.

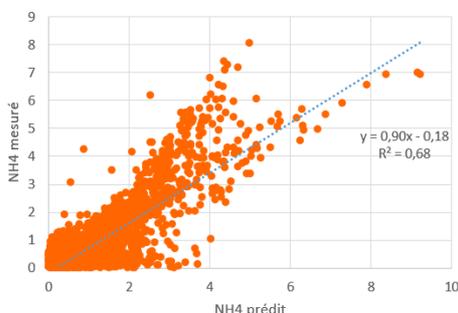


Figure 20 : Comparaison des données horaires NH_4^+ prédit et NH_4^+ mesuré de l'ACSM

VIII.3. Présentation d'Air Breizh

a) 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.

b) Missions

- **Surveiller les polluants urbains** nocifs (SO₂, NO₂, CO, O₃, Métaux lourds, HAP, Benzène, PM10 et PM2.5) 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

c) 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.



Composition chimique des particules dans le centre urbain de Rennes - Résultats des mesures 2023 à la station urbaine de fond Rennes Thabor