

“L’air est **essentiel à chacun**
et mérite l’**attention de tous.**”

Rapport

Caractérisation des particules à Rennes

Bilan 2020

Rapport – version du 03/03/2022



ORGANISME
DE MESURE, D'ÉTUDE
ET D'INFORMATION SUR
LA QUALITÉ DE L'AIR
EN BRETAGNE



Air Breizh
3 rue du Bosphore - Tour ALMA 8^{ème} étage - 35200 Rennes
Tél : 02 23 20 90 90 – Fax : 02 23 20 90 95

www.airbreizh.asso.fr

Avertissement

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 diffusion

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 1^{er} aout 2016 pris par le Ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association.

A 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

Service Etudes (rédacteurs)	Relecture	Validation
Raphaële FALHUN <i>(Ingénieur d'études)</i>	Olivier LE BIHAN <i>(Responsable Service Etudes)</i>	Gaël LEFEUVRE <i>(Directeur)</i>

Sommaire

I. Contexte	6
II. Les particules	7
II.1. Granulométrie des particules.....	7
II.2. Origine et composition des particules.....	7
II.3. Les sources d'émissions de particules primaires à Rennes	8
III. Moyens mis en œuvre	10
III.1. Carbone suie	10
III.2. Composition chimique.....	10
III.3. Site de mesure.....	11
III.4. Taux de couverture	12
III.5. Bilan des mesures de particules à Rennes	12
IV. Conditions météorologiques	15
IV.1. Direction et vitesse du vent	15
IV.2. Pluviométrie et température.....	16
V. Résultats	17
V.1. Carbone suie	17
V.1.1 Concentrations moyennes.....	17
V.1.2 Evolution temporelle	18
V.1.3 Roses de pollution en carbone suie en 2020	19
V.1.4 Evolution 2019 -2020.....	20
V.2. Composition chimique	23
V.2.1 Concentrations moyennes.....	23
V.2.2 Evolution temporelle	24
V.2.3 Influence météorologique	26
VI. Episode de pollution en mars 2020	28
VII. Conclusion	31
Annexe I : Lecture des roses de pollution	32
Annexe II : Validation des données ACSM	33
Annexe III : Profils moyens journaliers par saison	35
Annexe IV : Roses de pollution par saison	37
Annexe V : Analyse des rétrotrajectoires le 28 mars 2020	41
Annexe VI : Présentation d'Air Breizh	44
Présentation d'Air Breizh	45
Missions d'Air Breizh.....	45
Réseau de surveillance en continu	45
Moyens.....	46

Liste des figures

Figure 1 : Comparaison des tailles de particules PM10 et PM2,5 (Source U.S EPA).....	7
Figure 2 : Répartition des émissions de particules primaires PM10 et PM2,5 à l'échelle de la commune de Rennes et de Rennes Métropole en 2018 (ISEA v4.1).....	8
Figure 3 : Aethalomètre à la station Pays-Bas à Rennes.....	10
Figure 4 : ACSM à la station Pays-Bas à Rennes.....	11
Figure 5 : Localisation de la station Pays-Bas à Rennes (Géoportail).....	11
Figure 6 : Moyennes journalières en PM10 à Rennes en 2020.....	13
Figure 7: Moyennes mensuelles PM10 et PM2,5 à Rennes Pays-Bas en 2020.....	13
Figure 8 : Normale de rose des vents et rose des vents en 2020 à Rennes St-Jacques (Météo France).....	15
Figure 9 : Pluviométrie, températures normales et relevées en 2020 à Rennes St-Jacques.....	16
Figure 10: Variation des moyennes mensuelles de 2020 en BCwb et BCff.....	18
Figure 11 : Evolution temporelle des concentrations en moyenne journalière en PM10 et PM2,5 et des fractions issues de la combustion de biomasse (PMwb) et de la combustion d'hydrocarbures (PMff).....	19
Figure 12 : Moyennes mensuelles des contributions aux PM10 des fractions issues de la combustion de biomasse et de la combustion d'hydrocarbures.....	19
Figure 13 : Roses de pollution de BCwb (gauche) et BCff (droite) en 2020 à la station Pays-Bas.....	20
Figure 14 : Moyennes mensuelles en BCwb et BCff mesurées en 2019 et 2020.....	21
Figure 15 : Concentration et contribution des sources de combustion dans les niveaux de PM10 lors des premiers jours du 1 ^{er} confinement (Partie haute ; suivi temporel en horaire, au centre ;répartition journalière, partie basse ; suivi temporel en jour).....	22
Figure 16 : Concentration des sources de combustion dans les PM10 avant, pendant et après le 1 ^{er} confinement.....	22
Figure 17 : Bilan annuel de la composition des particules PM1-NR à la station Pays-Bas Rennes et de la composition des PM2,5 à Kergoff en 2020.....	23
Figure 18 : Variations mensuelles (en concentration et en contribution) des espèces mesurées par l'ACSM à la station Pays-Bas à Rennes (mars – décembre 2020).....	25
Figure 19 : Evolution temporelle des contributions dans les PM1 et des concentrations en moyennes journalières de PM10, du carbone élémentaire, de la matière organique et des ions chlorure, ammonium, nitrate et sulfate.....	25
Figure 20 : Profils journaliers des 5 espèces chimiques mesurées par ACSM à Rennes.....	26
Figure 21 : Rose de pollution de la matière organique et des ions chlorure, ammonium, nitrate et sulfate pour le site de Rennes Pays-Bas de mars à décembre 2020.....	27
Figure 22 : Carte de France des concentrations journalières modélisées par Prev'air pour le 28/03/2020.....	28
Figure 23 : Evolution temporelle des concentrations en moyenne horaire de PM10, PM2,5 et des fractions issues de la combustion de biomasse (PMwb) et de la combustion d'hydrocarbures (PMff) lors des 27 et 28 mars 2020 à la station Pays-Bas à Rennes.....	28
Figure 24 : Composition chimique des PM à Rennes les 27 et 28 mars 2020.....	29
Figure 25 : Comparaison des données horaires (ACSM + AE33) avec les PM1 mesurées par fidas à la station Pays-Bas.....	34
Figure 26 : Comparaison des données horaires NH ₄ ⁺ prédit et NH ₄ ⁺ mesuré de l'ACSM.....	34
Figure 27: Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/01/2021).....	46

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la station Pays-Bas à Rennes.....	12
Tableau 2 : Bilan réglementaire des PM à Rennes en 2020.....	12
Tableau 3 : Moyennes annuelles et maximums horaires et journaliers obtenus par l'AE33 en 2020.....	17
Tableau 4 : Moyennes annuelles et maxima horaires et journaliers de chimie des particules PM1-NR en 2020 à Rennes.....	23

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
AOS	Aérosols organiques secondaires
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)
ISEA	Inventaire spatialisé des émissions atmosphérique d'Air Breizh
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
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 effet, la mortalité liée à la pollution de l'air ambiant est conséquente puisque 40 000 décès, en France, 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 en air ambiant des particules 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 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.

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

Au niveau national, afin d'améliorer la compréhension des sources et causes lors des épisodes de pollution aux PM₁₀ mais aussi en dehors des épisodes, le programme CARA (CARActérisation chimique des particules) a été mis en place par le LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) en 2008. Historiquement ce programme repose sur l'analyse chimique en laboratoire de filtres prélevés par les AASQA en différents points. Suite aux travaux de veille technologique et de recherche, le développement d'analyseurs automatiques a apporté un complément aux analyses différées des prélèvements journaliers de particules. Ainsi ce dispositif a permis l'implantation d'un réseau opérationnel d'observation en temps réel de la composition chimique des particules unique en Europe.³

Air Breizh a intégré ce programme national fin 2018 avec la mise en place au niveau de la station urbaine de fond Pays-Bas, à Rennes, d'un aethalomètre multi-longueur d'onde AE33⁴. Puis en janvier 2020, la station a été équipée d'un ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor) pour devenir le 12^{ème} site multi-instrumenté du dispositif national.

L'AE33 permet de suivre en continu la concentration en carbone suie (ou « Black carbon » BC) mais aussi de distinguer et d'estimer la contribution de deux principales sources de combustion. L'ACSM mesure en temps réel la masse et la spéciation chimique des particules submicroniques en cinq espèces majeures (organiques, nitrate, sulfate, ammonium et chlorure). La composition des particules est particulièrement complexe, elle varie en fonction des sources d'émissions mais dépend aussi des processus physico-chimiques durant leur transport.

Ce rapport présente les résultats des mesures en continu de la composition des particules menées pendant l'année 2020 au niveau de la station urbaine de fond Pays-Bas à Rennes.

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

³ Bilan des travaux 2018-2019 du programme CARA, LCSQA

⁴ Etude du carbone suie à Rennes – Bilan de la première année de mesure, Air Breizh, 2020

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).

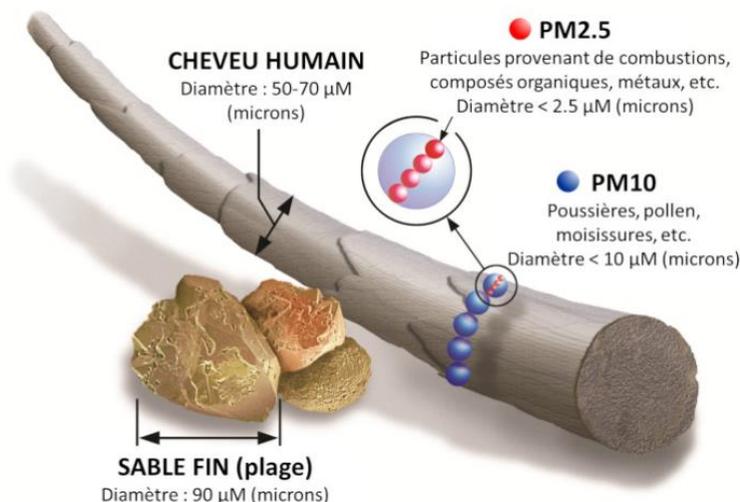


Figure 1 : Comparaison des tailles de particules PM10 et PM2,5 (Source U.S EPA)

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 (alcanes, 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, SO₂, NH₃)
- **Eléments 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).

II.3. Les sources d'émissions de particules primaires à Rennes

Les données sont issues de l'inventaire spatialisé des émissions atmosphériques (ISEA v4.1). Un inventaire est une description spatiale et temporelle des rejets de polluants qui consiste en une évaluation des sources d'émission sur un territoire donné, basée sur des données statistiques et/ou réelles. Il ne traite que des émissions de particules primaires.⁵

La figure 2 présente les sources d'émission de PM₁₀ et PM_{2,5} primaires en 2018 à Rennes et au niveau de la métropole.

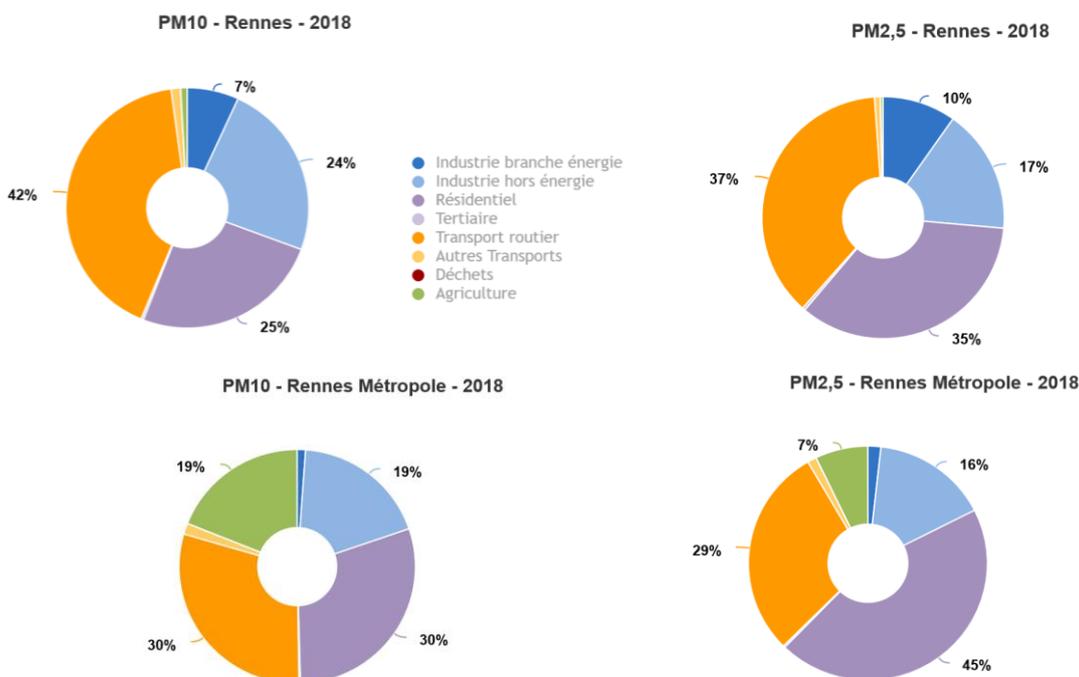


Figure 2 : Répartition des émissions de particules primaires PM₁₀ et PM_{2,5} à l'échelle de la commune de Rennes et de Rennes Métropole en 2018 (ISEA v4.1)

⁵ Méthodologie de construction de l'Inventaire Spatialisé des Emissions Atmosphériques ISEAv4, Air Breizh, 2021

La principale source d'émissions de PM10 au niveau de Rennes est le transport routier (42%). Les secteurs du résidentiel et de l'industrie hors branche énergie représentent chacun environ un quart des émissions communales. Les émissions de PM10 pour le secteur du résidentiel sont fortement liées à l'utilisation de bois pour le chauffage.

A Rennes, la répartition sectorielle des émissions de PM2,5 est différente de celle des PM10. En effet, pour les PM2,5 par rapport aux PM10, les transports routiers ont une contribution plus faible (37%) alors que le secteur résidentiel émet des PM2,5 en proportion plus importante (35%) notamment à travers le chauffage au bois qui est largement majoritaire.

A l'échelle de la métropole rennaise, les transports routiers ainsi que l'industrie ont des contributions moindres, par contre l'agriculture et le résidentiel représentent une part plus importante dans les émissions de PM10 et des PM2,5.

Ces répartitions d'émissions de PM permettent de fournir une vision globale sur les activités anthropiques qui contribuent aux concentrations. Pour rappel, il ne faut pas les confondre avec les concentrations de PM mesurées sur site, qui sont fortement influencées par les conditions météorologiques, les polluants transportés sur de longues distances et les réactions physico-chimiques dans l'atmosphère.

III. Moyens mis en œuvre

III.1. Carbone suie

Le carbone suie, issu exclusivement d'une combustion incomplète de matière carbonée (gaz, pétrole, charbon et biomasse), est constitué de carbone (C) et caractérisé par une grande capacité d'absorption du rayonnement lumineux. Dans la littérature scientifique, il est également appelé Black Carbon (BC) ou Elemental Carbon (EC) mais ces deux dénominations recouvrent la même classe de composés chimiques. Ils se distinguent par la méthode de mesure utilisée : mesure optique pour le premier et mesure thermique pour le deuxième⁶. Un facteur est appliqué pour estimer EC à partir du BC (Annexe I).

L'aethalomètre multi-longueurs d'onde (de type AE 33) (Figure 3) 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}.

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 3 : Aethalomètre à la station Pays-Bas 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)

III.2. Composition chimique

L'ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor) est un spectromètre de masse (Figure 4) 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** (SO₄²⁻), du **nitrate** (NO₃⁻), de l'**ammonium** (NH₄⁺) 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.

⁶ Le carbone suie : enjeu présent et futur, Actualité n°42, Airparif, 2014



Figure 4 : ACSM à la station Pays-Bas à Rennes

III.3. Site de mesure

Le site Pays-Bas a été mis en service en 2012. La station est située au sud de la ville de Rennes dans un quartier résidentiel (Figure 5), desservi par le métro avec des habitats majoritairement collectifs dont certains reliés au réseau de chaleur de la chaufferie biomasse.

La **station urbaine de fond Pays-Bas**, à Rennes, a été équipée fin 2018 d'un AE33 pour le suivi du carbone suie. En janvier 2020, un ACSM a été installé.

La cabine est équipée d'un analyseur de particules PM10, PM2,5, PM1 et de préleveurs pour le suivi des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et métaux lourds (Tableau 1).

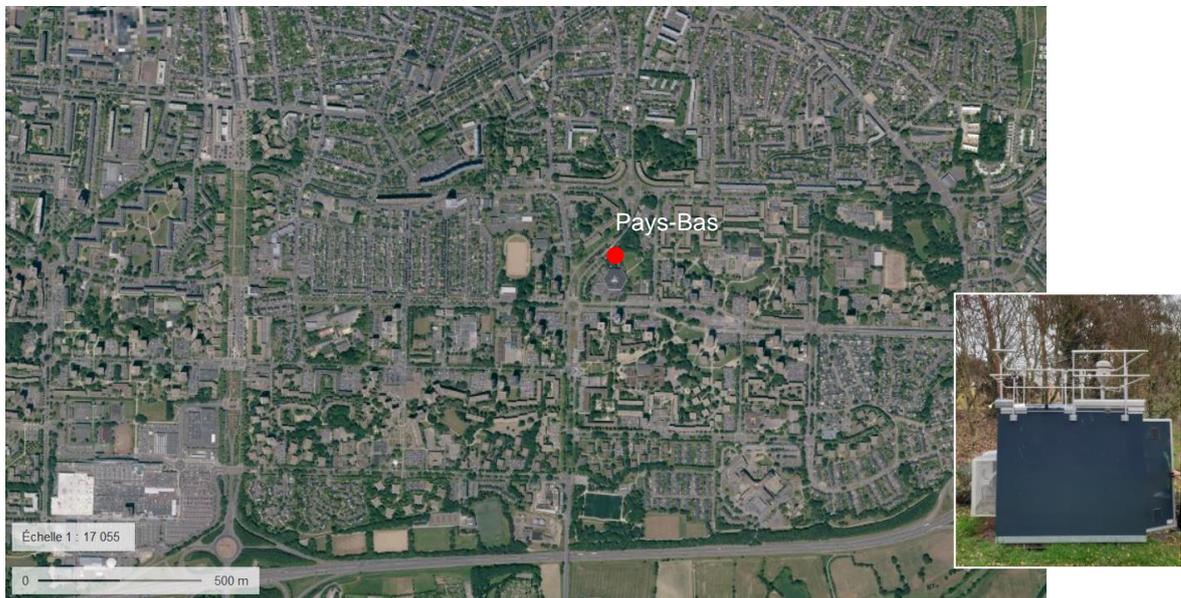


Figure 5 : Localisation de la station Pays-Bas à Rennes (Géoportail)

Tableau 1 : Caractéristiques de la station Pays-Bas à Rennes

Typologie de la station	Station urbaine de fond
Latitude	48°5'22.74'
Longitude	-1°39'32.8''
Altitude	45 m
Polluants mesurés	
Réglementés	PM10, PM2.5, HAP, métaux lourds
Non réglementés	PM1, Carbone suie, PM1-NR

III.4. 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.

En 2020 sur le site Pays-Bas à Rennes, la représentativité est bonne puisque **le taux couverture de l'AE33 est de 94%** et celui de **l'ACSM est de 75%** (85% depuis la mi-février : début d'exploitation des données).

III.5. Bilan des mesures de particules à Rennes

La mesure de la concentration massique de PM10 et PM2,5 (ainsi que les PM1) est assurée à la station urbaine Pays-Bas à Rennes par un analyseur FIDAS (spectromètre optique de très haute résolution). Les mesures de la station trafic Laënnec sont également présentées pour servir de comparaison (Tableau 2).

Tableau 2 : Bilan réglementaire des PM à Rennes en 2020

		Pays-Bas	Laënnec	Seuils réglementaires		
		Fond	Trafic			
PM10	Moyenne annuelle (µg/m ³)	14	17	Objectif de qualité	30 µg/m ³	A ne pas dépasser plus de 35 fois par an
				Valeur limite	40 µg/m ³	
	Nombre de dépassements de 50 µg/m ³ en moyenne journalière	1	1	Valeur limite	50 µg/m ³	
PM2,5	Moyenne annuelle (µg/m ³)	9	8	Objectif de qualité	10 µg/m ³	
				Valeur cible	20 µg/m ³	
				Valeur limite	25 µg/m ³	

En 2020, les seuils réglementaires pour les PM10 et les PM2,5 ont été respectés. Les concentrations en PM10 sont plus élevées au niveau de la station trafic Laënnec reflétant ainsi l'impact local du trafic routier en proximité de la source d'émissions.

Les valeurs réglementaires établies à partir de moyennes annuelles ne permettent pas de rendre compte des disparités saisonnières. La figure 6 présente les moyennes journalières des concentrations en PM10 mesurées à Rennes en 2020. Une évolution saisonnière des concentrations est constatée, avec des valeurs classiquement plus élevées en hiver/printemps en

raison d'émissions supplémentaires liées entre autres au chauffage, à l'agriculture et à des conditions climatiques plus favorables à l'accumulation des polluants.

Un dépassement de seuil d'information/recommandation (IR) ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été mesuré en mars 2020 (cf VI). Dans le département d'Ille-et-Vilaine, 3 procédures d'IR et d'alerte sur persistance ont été déclenchées en mars/avril.

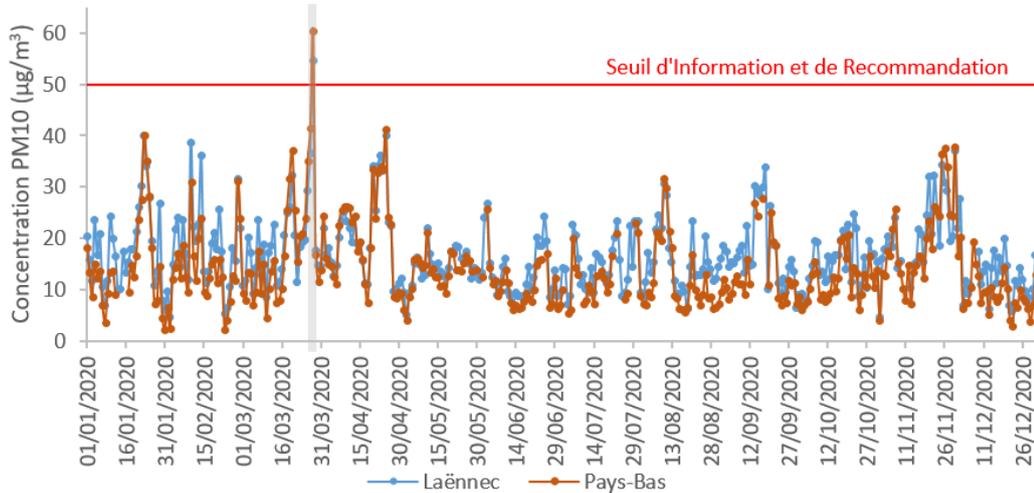


Figure 6 : Moyennes journalières en PM10 à Rennes en 2020

A la station Pays-Bas, le ratio $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ varie de 0,4 à 0,7 (Figure 7) traduisant l'évolution au cours de l'année des sources contributrices et de la composition des particules associées.

La fraction des $\text{PM}_{2,5}$ augmente pendant les mois les plus froids, du fait de la présence des particules liées à la combustion pour le chauffage résidentiel ; ces dernières sont majoritairement de diamètre inférieur à $1 \mu\text{m}$ et font donc partie des $\text{PM}_{2,5}$. De plus, en hiver et au printemps, les concentrations en $\text{PM}_{2,5}$ sont plus fortes en raison des mouvements de masse d'air et des conditions météorologiques. En effet, ces conditions sont favorables à des apports transfrontaliers de particules fines secondaires provenant de pays d'Europe (Allemagne, Pays-Bas, Belgique ou encore Europe centrale)⁷.

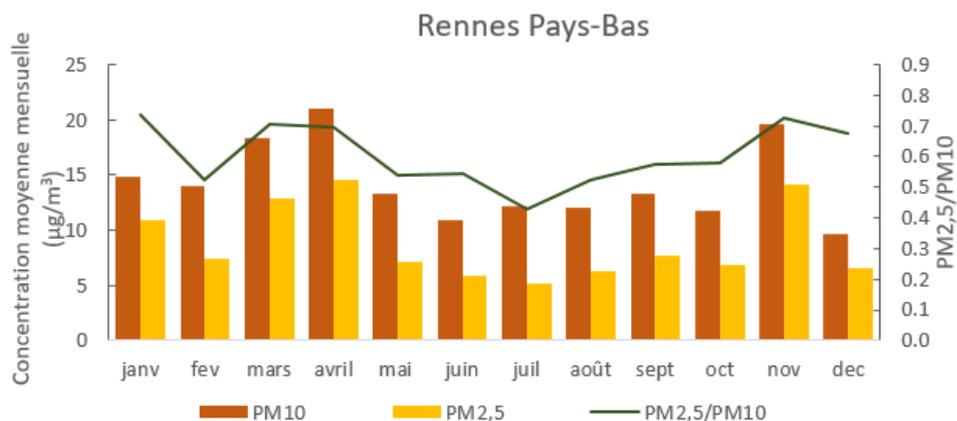


Figure 7: Moyennes mensuelles PM10 et PM2,5 à Rennes Pays-Bas en 2020

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a annoncé en septembre 2021, de nouveaux seuils de qualité pour protéger la santé des populations. Ces nouveaux seuils de référence 2021 pour les particules fines se traduisent par un abaissement de la valeur seuil pour les moyennes annuelles

⁷ Le suivi de la composition chimique des particules : complémentarité des observatoires nationaux, Ministère de la Transition Ecologique, 2020

de PM_{2,5} à 5 µg/m³ (contre 10 µg/m³ dans le document de 2005) ainsi que celle pour les PM₁₀ à 15 µg/m³ (20 µg/m³ dans le document de 2005).

Les mesures en particules fines faites à Rennes respectent les seuils réglementaires annuels, cependant, les concentrations moyennes annuelles en PM_{2,5} dépassent la nouvelle recommandation de l’OMS (5 µg/m³).

IV. Conditions météorologiques

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

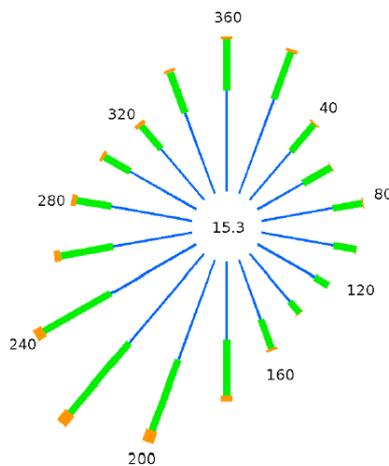
Les données météorologiques présentées dans le chapitre suivant et dans l'ensemble du rapport, sont tirées des mesures de **la station Météo France de Rennes St-Jacques** (code Météo France 35281001) située à moins de 10 kilomètres de la station Pays-Bas à Rennes.

IV.1. Direction et vitesse du vent

Les conditions de direction et vitesse du vent pendant une période sont souvent représentées par des roses des vents (Figure 8). 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 *vitesse 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 1981 – 2010)



Rose des vents en 2020 à Rennes – St Jacques

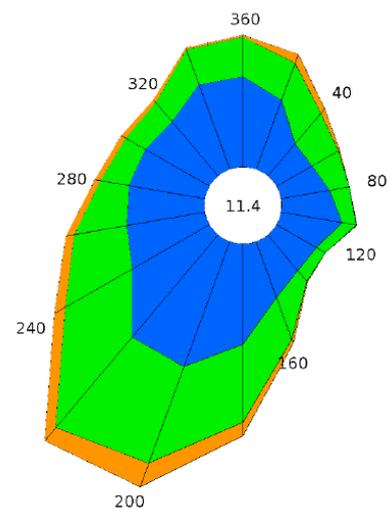


Figure 8 : Normale de rose des vents et rose des vents en 2020 à Rennes St-Jacques (Météo France)

En 2020, les vents dominants proviennent d'un large **secteur Sud-Ouest** et sont majoritairement compris pour la plupart entre 1,5 et 8 m/s. Les vents les plus forts (> 8 m/s) sont issus du même secteur. Les vents faibles (vitesse < 1,5 m/s) ont été moins nombreux : 11% du temps alors que la normale est à 15%.

L'année 2020 ne présente pas de particularité significative, la situation est représentative de la normale de rose des vents observée de 1981 à 2010.

IV.2. Pluviométrie et température

La température est un autre paramètre influent sur les teneurs en polluants atmosphériques. Un important écart thermique 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 couramment rencontré au printemps). De plus, les températures ont un impact sur certaines activités ; le chauffage résidentiel l'hiver 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) ainsi que la pluviométrie mensuelle relevées en 2020 sont comparées aux valeurs normales (moyennes mensuelles sur les années 1981 - 2010) (Figure 9).

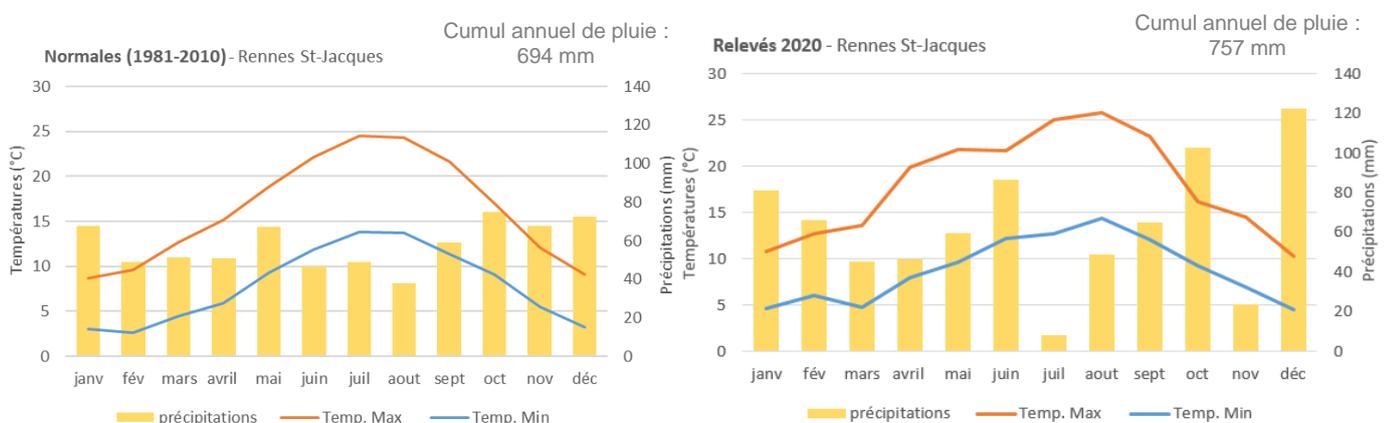


Figure 9 : Pluviométrie, températures normales et relevées en 2020 à Rennes St-Jacques

Les mois de janvier, février, avril, novembre et décembre et octobre présentent des températures minimales plus élevées (de plus 1°C minimum) que les normales. Les températures maximales, en 2020, sont plus élevées que les normales, seuls les mois de juin et septembre ont des températures maximales inférieurs aux normales. Février et avril sont des mois qui se différencient fortement par rapport aux normales avec des températures maximales supérieures respectivement de 3,1 et 4,7°C aux normales mensuelles.

Les précipitations mensuelles relevées en 2020 présentent de fortes variations par rapport aux normales mensuelles. Un début d'année, de janvier/février, plus pluvieux que dans le passé. La période estivale présente un mois de juin particulièrement arrosé (+40 mm de pluie) par rapport aux normales et un mois de juillet sec avec seulement 8 mm de pluie. La fin d'année est également bien différente des normales. Les mois d'octobre et décembre ont été très pluvieux avec +28 mm et +50 mm par rapport aux normales alors qu'à l'inverse il y a eu peu de précipitations pendant le mois de novembre (-44 mm). Au total, le cumul de pluie en 2020 est supérieur de 63 mm au cumul moyen annuel relevé dans le passé (1981-2010).

Les vents enregistrés, majoritairement de secteur sud-ouest sont cohérents avec la normale de rose des vents. L'année 2020, à Rennes, a été plus chaude que par le passé, la température moyenne annuelle de 2020 s'établit à 13,4°C, soit 1,3°C de plus que la moyenne normale mesurée à la station Météo France (1981 – 2010). De même, les précipitations ont été plus importantes en 2020.

V. Résultats

V.1. Carbone suie

La mesure du carbone suie avec l'AE33 permet de distinguer deux fractions de BC : l'une reliée à la combustion d'hydrocarbures (BCff) et l'autre à la combustion de biomasse (BCwb).

Il est ensuite possible d'**estimer** les concentrations de PM10 attribuables à ces deux familles de sources à partir des concentrations en BC mesurées dans les PM2,5 et 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 Pays-Bas sont ceux recommandés par défaut par le LCSQA².

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

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

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). Par contre 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.

V.1.1 Concentrations moyennes

Dans le tableau 3, la moyenne annuelle ainsi que le maximum horaire et journalier sont présentés pour le BC, le BCff et le BCwb mais également pour les PM liées à ces deux sources de combustion.

Tableau 3 : Moyennes annuelles et maximums horaires et journaliers obtenus par l'AE33 en 2020

µg/m ³	BC	BCff	BCwb	PMff	PMwb
Moyenne annuelle	0,7	0,5	0,2	1,0	1,9
Max horaire	8,5	7,4	4,2	14,9	41,8
Max journalier	2,6 26/11/2020	1,9 22/10/2020	1,3 26/11/2020	3,7 22/10/2020	12,6 26/11/2020

A la station Pays-Bas à Rennes, en 2020, la concentration moyenne annuelle du carbone suie (BC) est de 0,7 µg/m³. Cette moyenne annuelle en BC est proche de celle mesurée sur des stations de fond urbain à Poitiers, Reims ou encore Le Havre et fait partie des plus faibles concentrations rencontrées parmi une sélection d'une trentaine de sites de fond urbain français⁸. La contribution moyenne annuelle de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures (BCff) est de l'ordre de 73%, les 27% restants étant attribuables à la combustion de la biomasse.

⁸ Bilan de la qualité de l'air extérieure en France en 2020, le service des données et études statistiques (SDES), octobre 2021

L'origine du carbone suie à Rennes est similaire à celle mesurée à Lille et à Creil par Atmo Hauts-de-France en 2020 où le trafic constitue la principale source (74 à 79%) de BC⁹.

En moyenne sur l'année, les sources de combustion expliquent 20%* de l'origine des PM10 mesurées au niveau de la station Pays-Bas à Rennes.

V.1.2 Evolution temporelle

La figure 10 permet de visualiser les moyennes mensuelles des concentrations en BCwb et BCff en 2020. Le BC est constitué en majorité de BCff (73% en moyenne annuelle).

Des concentrations plus élevées en BC sont visibles en période hivernale. Cette variation hiver/été est liée à la fraction issue de la combustion de biomasse en lien avec l'utilisation du chauffage résidentiel durant l'hiver. Les niveaux issus de la combustion d'hydrocarbures varient moins même si des variations sont présentes et associées aux conditions météorologiques.

Les conditions météorologiques 2020 peuvent en partie expliquer les variations importantes : pour rappel le mois de novembre a été sec alors que les mois d'octobre et de décembre ont été très pluvieux ; de même le mois de février a été plus chaud.

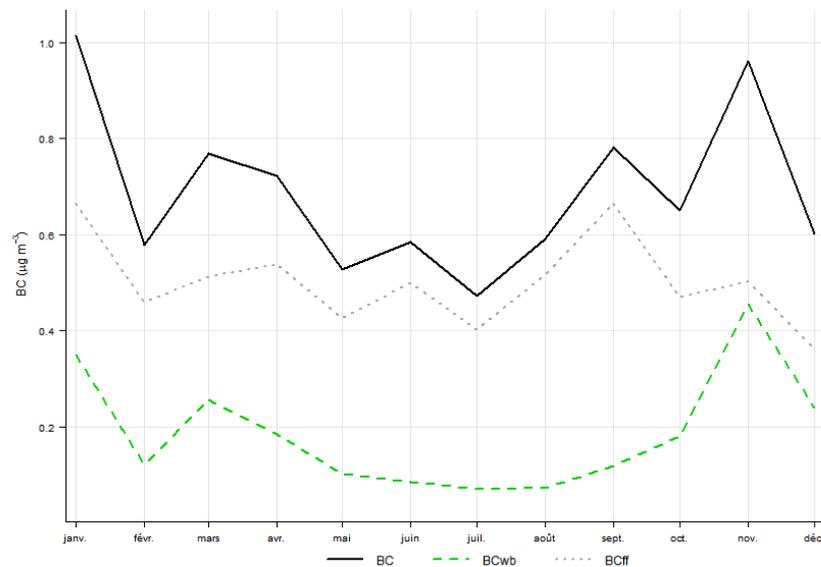


Figure 10: Variation des moyennes mensuelles de 2020 en BCwb et BCff

L'évolution des concentrations journalières en PM10 et PM2,5 ainsi que les concentrations estimées de chacune des 2 sources de combustion sont représentées sur la figure 11. La variation des concentrations en PMwb est visible avec l'augmentation de cette fraction lors des périodes froides. A l'inverse les concentrations en PMff semblent relativement stables toute l'année.

⁹Bilan de la qualité de l'air en 2020 – Hauts-de-France, Atmo Hauts-de-France, juillet 2021

*ratio moyen des PM liées à la combustion (PMff+PMwb) sur les PM10

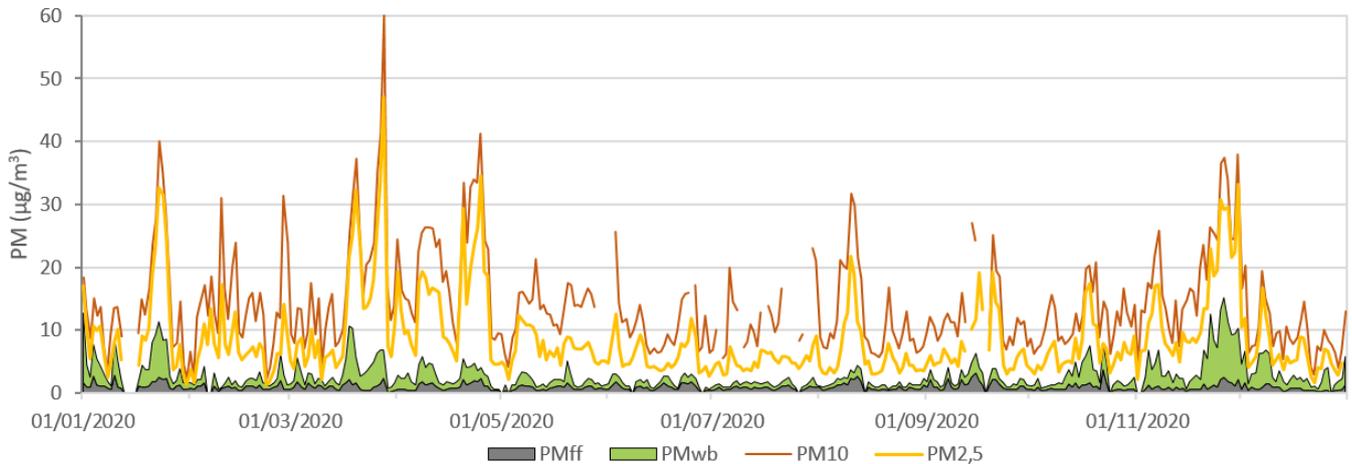


Figure 11 : Evolution temporelle des concentrations en moyenne journalière en PM10 et PM2,5 et des fractions issues de la combustion de biomasse (PMwb) et de la combustion d'hydrocarbures (PMff)

La figure 12 représente les contributions moyennes mensuelles des PMff et PMwb dans les PM10 et permet de confirmer le constat fait précédemment.

L'influence saisonnière est moins marquée pour la fraction des particules issues de la combustion d'hydrocarbures (PMff) puisque la source est relativement constante. Les contributions moyennes mensuelles du trafic routier dans les PM10 (PMff) sont relativement stables au fil de l'année (5-10%). En revanche, les concentrations en PMwb varient beaucoup plus suivant les saisons. En effet, la contribution minimale de la combustion de biomasse dans les PM10 est de 6% en période estivale et elle atteint 25% en décembre. La contribution hivernale est principalement liée au recours au chauffage résidentiel.

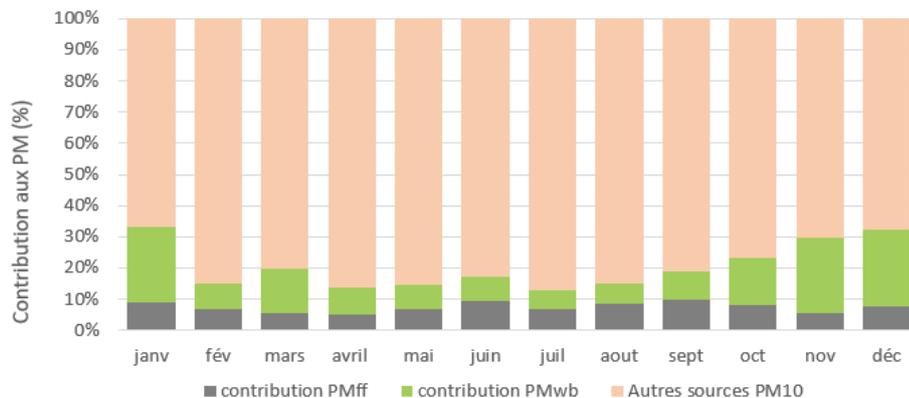


Figure 12 : Moyennes mensuelles des contributions aux PM10 des fractions issues de la combustion de biomasse et de la combustion d'hydrocarbures

Une part importante des PM10 reste inconnue puisque la contribution des autres sources représente 67 à 87% des PM10 en fonction des mois. La mesure de la composition chimique des particules par ACSM (cf V.2) va permettre d'étudier une partie de cette contribution.

En moyenne, les phénomènes de combustion (biomasse et hydrocarbures) contribuent à 20% de la concentration massique des PM10 mesurée au niveau de la station Pays-Bas. La part liée au trafic routier reste stable au cours de l'année alors que la fraction liée à la combustion de biomasse présente une forte influence saisonnière (utilisation du chauffage en période froide).

V.1.3 Roses de pollution en carbone suie en 2020

Les roses de pollution pour le BCwb le BCff sur le site de Pays-Bas à Rennes en 2020 avec les données de la station Rennes-St Jacques de Météo France sont présentées dans la figure 13.

Une rose de pollution permet de localiser les différences de concentration d'un polluant (échelle de couleur) en fonction de la direction et de la force du vent (cercles) (Annexe I). Un pas de temps horaire a été exploité afin d'étudier un lien potentiel entre ces différents paramètres.

Les plus fortes concentrations en BCwb sont observées par vents faibles (< 3 m/s) ce qui indique une influence plutôt locale, d'où les faibles concentrations car la station est située dans un quartier avec des immeubles (chauffage collectif). Le BCff a une origine plus diffuse avec des vents inférieurs à 10 m/s de Nord-Ouest, Sud-Ouest en lien avec l'axe de circulation de l'avenue des Pays-Bas mais également du parking à proximité.

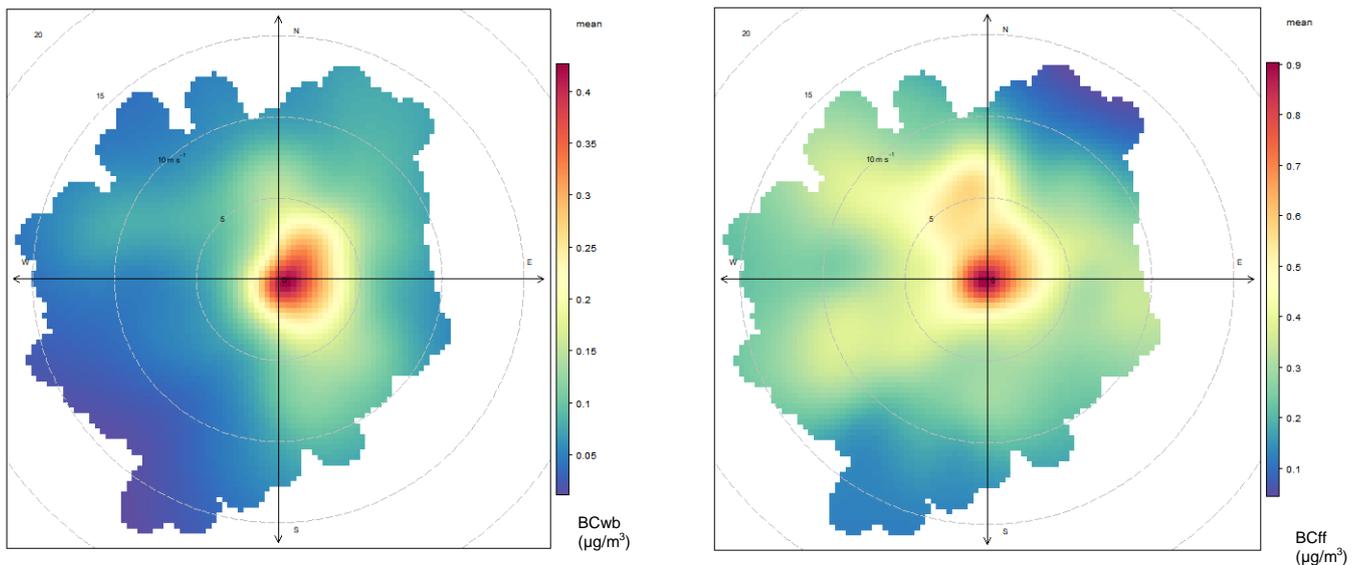


Figure 13 : Roses de pollution de BCwb (gauche) et BCff (droite) en 2020 à la station Pays-Bas

V.1.4 Evolution 2019 -2020

La moyenne en carbone suie observée en 2020 ($0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est légèrement inférieure à celle mesurée en 2019 ($0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La figure 14 présente les concentrations moyennes mensuelles en BCff et BCwb mesurées en 2019 et 2020 à la station Pays-Bas.

La concentration moyenne en BCwb de février 2020 est bien inférieure à celle de 2019 en raison des températures plus chaudes que la normale et ainsi de l'impact moins marqué du chauffage résidentiel. Les mois de mars, avril et novembre présentent des concentrations en BCwb supérieures à 2019. Les différences de conditions météorologiques (pluviométrie, température...) entre ces 2 années peuvent expliquer ces différences. De plus, les mois cités précédemment coïncident avec la mise en place des confinements en lien avec la pandémie qui ont eu pour impact le recours au télétravail, l'augmentation du temps passé à domicile avec l'influence potentielle du chauffage résidentiel au bois (notamment en novembre).

De façon générale, les concentrations observées en 2020 en BCff sont inférieures à celles de 2019. Les raisons à cette baisse sont à la fois les conditions météorologiques (ex : janvier et février) mais aussi l'impact du confinement avec la baisse du trafic (cf encadré Mesure des PM pendant le 1^{er} confinement). Les mois d'août et de septembre, non concernés par les mesures de restrictions de déplacement, ont des concentrations en BCff proches pour les deux années 2019 et 2020.

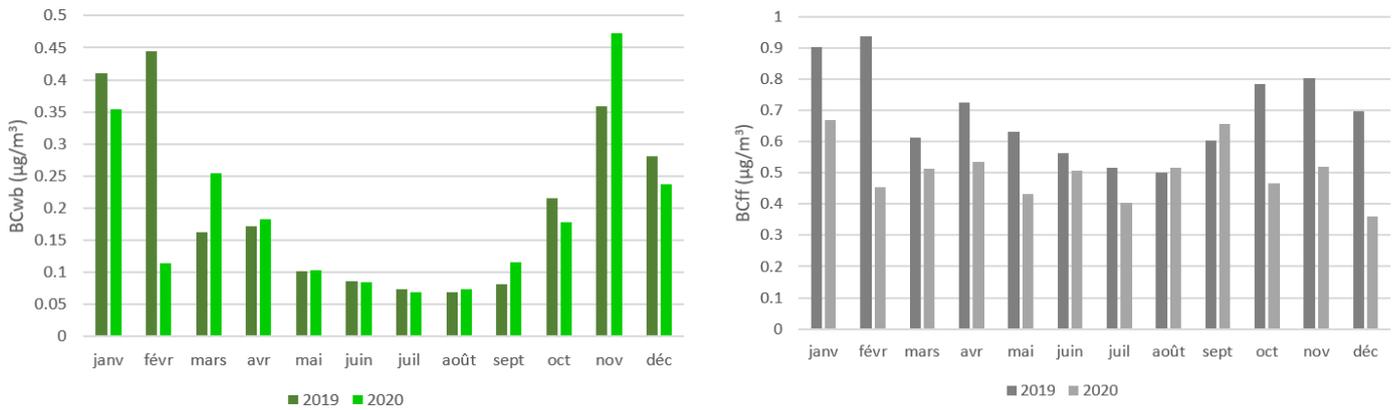


Figure 14 : Moyennes mensuelles en BCwb et BCff mesurées en 2019 et 2020

La baisse observée en 2020 par rapport à 2019 des concentrations en BC est liée aux conditions météorologiques très dispersives en 2020 et à des températures plus clémentes en période hivernale qui ont donc limité les émissions du chauffage résidentiel même si cette diminution a été compensée par le fait que les habitants ont passé plus de temps à domicile suite à la restriction des activités et la pratique du télétravail en lien avec la crise sanitaire. La baisse du trafic a également contribué à la baisse des concentrations en carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures.

En effet, les mesures de restrictions ont eu un impact positif sur la pollution atmosphérique d'origine routière : durant les premiers jours du confinement, une diminution des teneurs en PM10 et PM2,5 a été constatée ainsi que des baisses significatives des concentrations en dioxyde d'azote ont été observées sur l'ensemble des sites de mesures de la région. Cet impact a été logiquement plus marqué près des axes de circulation.¹⁰

Le carbone suie mesuré à Rennes en 2020 est principalement issu de la combustion des hydrocarbures (trafic routier). La station Pays-Bas fait partie des sites de fond urbain en France présentant les plus faibles concentrations annuelles moyennes en BC. Une légère baisse des concentrations en carbone entre 2019 et 2020 est liée aux conditions météorologiques et à l'impact des mesures prises en lien avec la crise sanitaire.

¹⁰ Evaluation de l'impact du confinement sur la qualité de l'air en Bretagne, Air Breizh, 2020

Mesure des PM10 à Rennes lors du 1^{er} confinement en mars 2020

Dans le contexte de l'épidémie de COVID-19, des mesures de confinement ont été mises en place au printemps puis à l'automne 2020 ce qui a entraîné des répercussions sur le mode de vie et notamment sur le trafic routier.

Les premiers jours après le 1^{er} confinement, malgré la baisse des émissions du trafic routier, les **PM10 ont continué à évoluer à la hausse** (Figure 15). Cette augmentation est conjointe avec celle des PMwb qui peut s'expliquer par la présence d'un grand nombre de personnes à domicile. Notons, une diminution de moitié de la contribution des particules primaires issues de la combustion d'hydrocarbures notamment associée au trafic routier (PMff) est constatée au niveau de la station de Pays-Bas à Rennes en passant de 8 à 4% du 17 au 19 mars 2020.

La part de la contribution des PMwb augmente du 17 au 19 mars avant de diminuer. Cette baisse est à mettre en lien avec l'augmentation des températures entraînant la baisse des émissions du chauffage bien que les gens soient restés confinés et la levée du vent de Nord-Est.

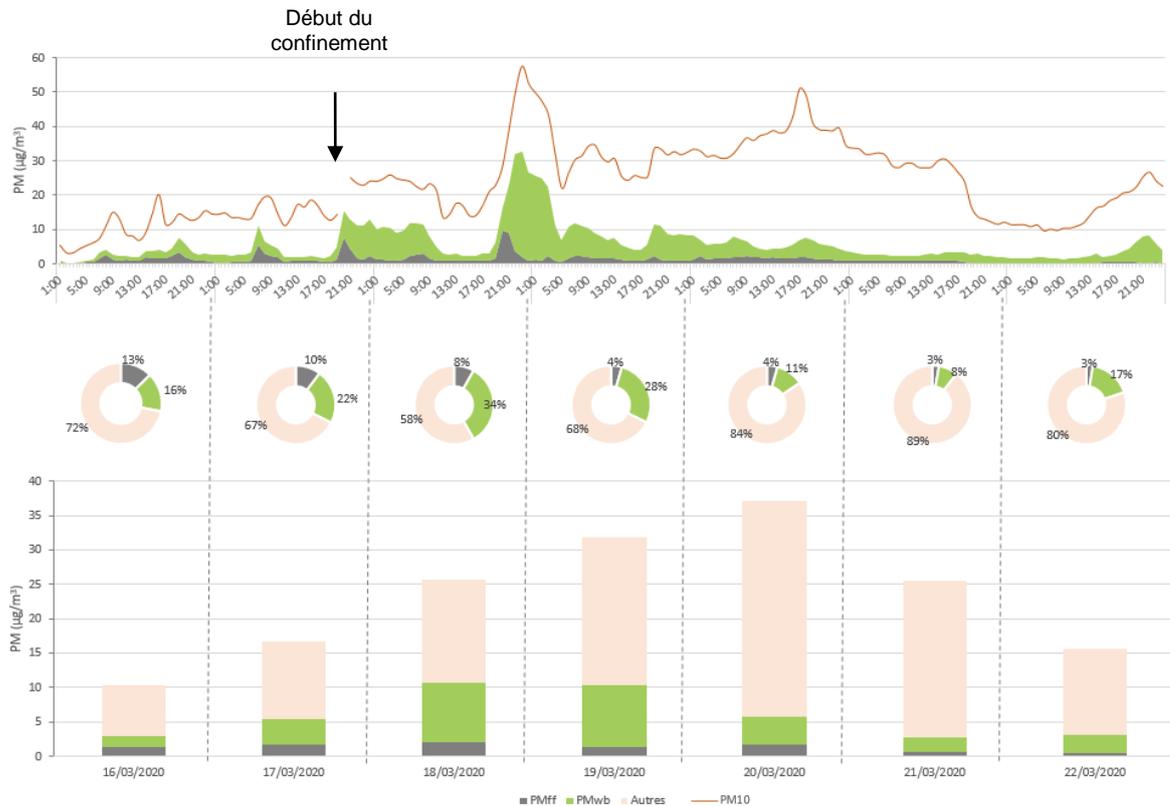


Figure 15 : Concentration et contribution des sources de combustion dans les niveaux de PM10 lors des premiers jours du 1^{er} confinement (Partie haute ; suivi temporel en horaire, au centre ; répartition journalière, partie basse ; suivi temporel en jour)

Avant le confinement, les particules liées aux phénomènes de combustion représentent 24% des PM10 alors que pendant et après le confinement, cette part diminue à 16 et 15%. A noter que les PMff représentent 8% des PM10 avant et après le confinement alors que pendant le confinement cette proportion est de 5%. D'autre part, la concentration moyenne en PM10 est plus élevée pendant la période soumise à des restrictions. En raison des conditions météorologiques peu dispersives conjuguées à un maintien, voire une

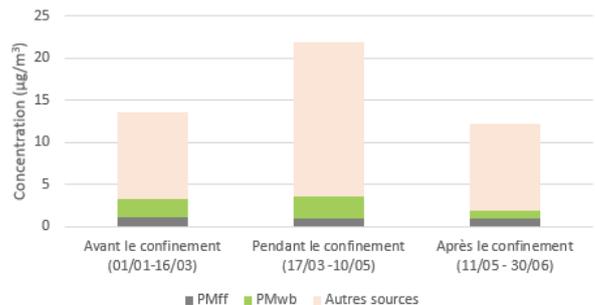


Figure 16 : Concentration des sources de combustion dans les PM10 avant, pendant et après le 1^{er} confinement

augmentation de certaines activités (notamment agricoles), il n'a pas été observé de baisse des concentrations en PM10.

Cette situation met en évidence la contribution des différentes sources à la pollution particulaire et le rôle des conditions météorologiques.

V.2. Composition chimique

V.2.1 Concentrations moyennes

Le tableau 4 présente, pour la matière organique et les ions majeurs ainsi que les PM1-NR la moyenne annuelle, le maximum horaire et journalier obtenus en 2020 (mi-février à décembre) à Rennes.

La concentration en particules PM1-NR en 2020 (mi-février - décembre) est de 6,3 µg/m³ et corrèle bien avec la moyenne des PM1 mesurée par l'analyseur en continu (FIDAS) de 6,5 µg/m³ au niveau de la station Pays-Bas sur la même période.

Tableau 4 : Moyennes annuelles et maxima horaires et journaliers de chimie des particules PM1-NR en 2020 à Rennes

µg/m ³	OM	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PM1-NR
Moyenne annuelle	3,8	0,5	1,1	0,8	0,1	6,3
Max horaire	48,8	10,3	22,3	9,0	2,1	58,0
Max journalier	16,6	6,4	14,0	5,5	0,8	38,8

En moyenne en 2020 (Figure 17), la matière organique est le composé dominant des PM1 non-réfractaires (PM1-NR) avec une contribution de 61%. Les composés inorganiques contribuent en proportion moins importante ; les ions nitrate à 17%, sulfate à 13%, ammonium à 8% et chlorure à 1%. Le nitrate est l'espèce la plus importante parmi les 4 composés inorganiques. Le chlore mesuré par l'ACSM est le chlore non réfractaire ; il ne comprend pas les sels marins.

PM1-NR à la station de fond urbaine Pays-Bas (Rennes – 35) en 2020



PM2,5 à la station rurale nationale Kergoff (Merléac - 22) en 2020

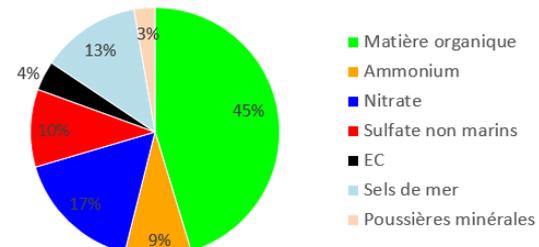


Figure 17 : Bilan annuel de la composition des particules PM1-NR à la station Pays-Bas Rennes et de la composition des PM2,5 à Kergoff en 2020

La composition chimique des PM2,5 au niveau de la station rurale nationale Kergoff est analysée grâce au dispositif MERA (Mesure et d'Evaluation en zone Rurale de la pollution Atmosphérique à longue distance) par méthode différée (prélèvement par filtre puis analyse en laboratoire). Comparée à la composition des PM1-NR, les PM2,5 contiennent plus d'éléments naturels (sels marins, poussières minérales). Cependant, les résultats sont compatibles entre différentes tailles de particules : les composés organiques dominent et les composés inorganiques secondaires représentent également une grande part.

La taille des particules mais aussi la typologie de la station impacte la composition chimique. Par exemple, au niveau d'une station urbaine trafic la part du carbone élémentaire présente un écart significatif en comparaison à des mesures en fond urbain ; plus de résultats lors de la diffusion sur notre site internet du rapport concernant l'étude « Caractérisation des émissions particulaire du trafic routier sur la rocade de Rennes ».

La composition chimique annuelle moyenne des PM1-NR à Rennes est comparable avec celle mesurée par Atmo Haut-de-France à Creil (Station urbaine de fond) en 2020 avec 53% de matière organique, 21% de nitrate et 13 % du sulfate.⁹

V.2.2 Evolution temporelle

La figure 18 représente les variations mensuelles en concentration et en contribution aux PM1-NR des espèces mesurées par l'ACSM. L'évolution journalière des concentrations et des contributions des différents composés mesurés par l'ACSM et l'AE33 (Annexe II) est représentée sur la figure 19.

Notons la particularité du mois de décembre 2020, les concentrations mesurées sont faibles pour l'ensemble des composés, en raison de la forte pluviométrie (cumul mensuel de 122 mm cf IV.2).

La **matière organique** est la première contributrice dans la masse des particules PM1-NR parmi les composés mesurés par l'ACSM (47% à 76%). Les plus fortes concentrations sont obtenues en mars, avril et novembre. Les composés organiques peuvent être émis par des sources primaires anthropiques (chauffage, trafic...) et naturelles (débris végétaux, bactéries, pollens...). Ainsi les concentrations élevées en période hivernale s'expliquent du fait d'une augmentation des sources de combustion telles que la combustion de biomasse. Ils sont également formés dans l'atmosphère à partir d'autres polluants gazeux (COV), appelés AOS (aérosols organiques secondaires). C'est pourquoi la matière organique est présente tout au long de l'année même pendant l'été.

Le **nitrate** est plus important en contribution et concentration pendant les mois de mars, avril et novembre. Il provient de l'oxydation des NOx (émis par les procédés de combustion dont notamment les transports routier) et est stabilisé par association avec l'ammoniac émis principalement par l'agriculture via l'élevage et l'utilisation d'engrais azotés) formant ainsi le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3). Il est également impliqué dans la neutralisation du sulfate (NH_4HSO_4 ou $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)¹¹. Les fortes concentrations mesurées en nitrate s'expliquent par un épandage de doses massives d'engrais azotés et de lisiers au printemps mais aussi du fait des conditions météorologiques favorables à la transformation de polluants. Le nitrate d'ammonium est un composé semi-volatil qui se décompose en phase gazeuse suivant la température. En effet, sa répartition entre la phase particulaire et la phase gazeuse est fonction de la température et de l'hygrométrie ambiante. La formation du NH_4NO_3 s'explique par des conditions favorables ; notamment la survenue d'épisodes anticycloniques (températures froides et conditions de stabilité atmosphérique).

Le **sulfate** présente les plus fortes contributions aux PM pendant l'été. Les conditions d'ensoleillement sont propices à l'oxydation du SO_2 et donc à la formation du sulfate d'ammonium qui dispose d'une meilleure stabilité que le nitrate d'ammonium.

Avec la mesure par ACSM, seul le sulfate non marin est considéré, c'est un composé inorganique secondaire. Le sulfate d'origine marine (sulfate marin) est distingué et mesuré notamment lors d'analyse différée.

Le **chlorure** est un composé mineur, la concentration est légèrement plus élevée en période froide que durant les mois d'été. Ceci s'explique par la provenance du chlore réfractaire liée à l'industrie ou la combustion de biomasse. Pour rappel les sels des embruns marins ne sont pas mesurés par l'ACSM.

¹¹ Evolution sur le long terme de la composition chimique des PM2,5, LCSQA, 2020

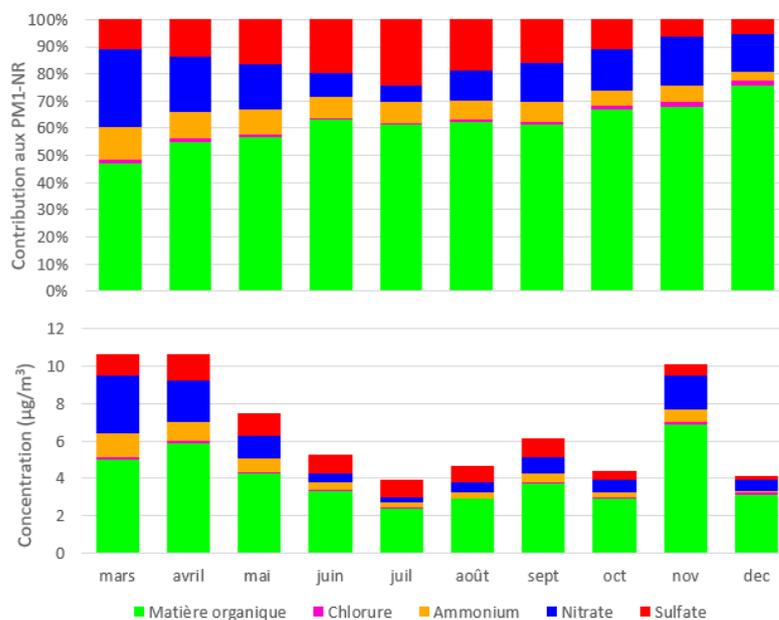


Figure 18 : Variations mensuelles (en concentration et en contribution) des espèces mesurées par l'ACSM à la station Pays-Bas à Rennes (mars – décembre 2020)

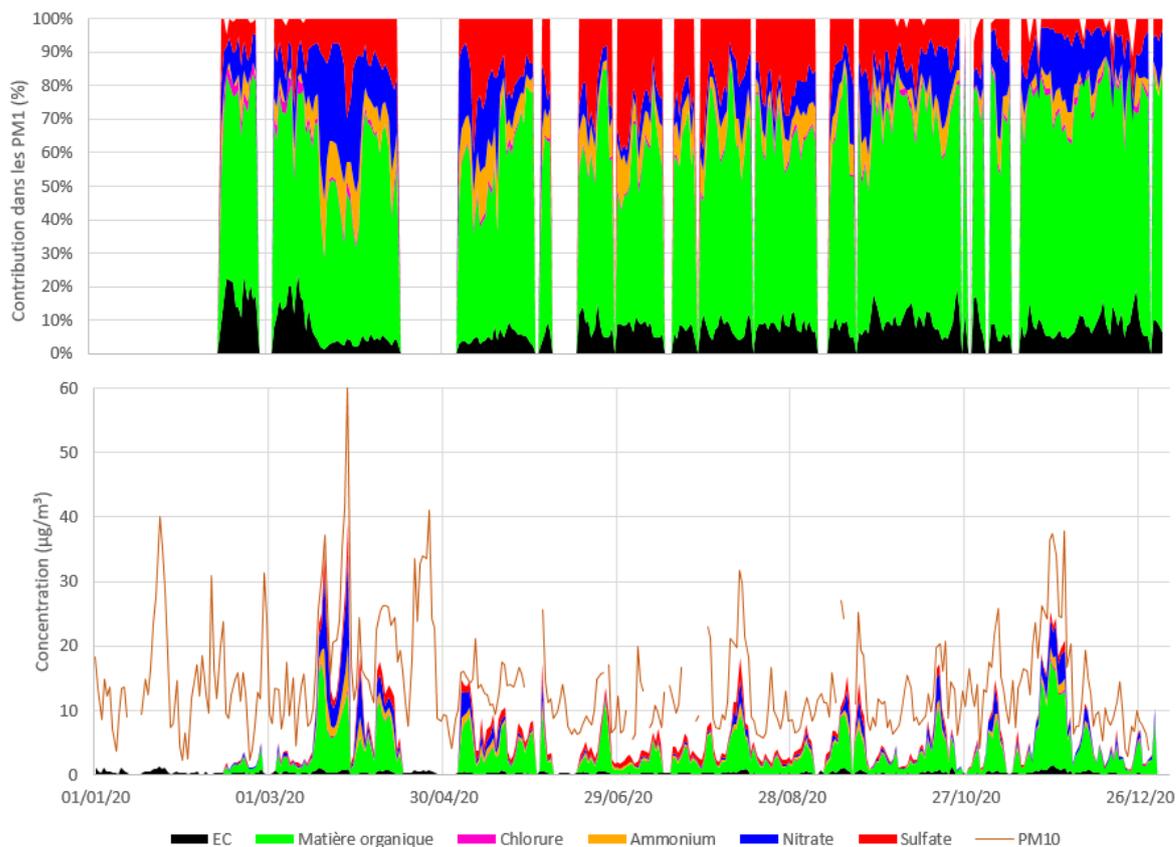


Figure 19 : Evolution temporelle des contributions dans les PM1 et des concentrations en moyennes journalières de PM10, du carbone élémentaire, de la matière organique et des ions chlorure, ammonium, nitrate et sulfate

Le caractère semi-volatil du nitrate d'ammonium se traduit dans le profil journalier des concentrations moyennes (Figure 20) ; les valeurs les plus élevées (en nitrate) sont mesurées aux heures les plus froides (nuit et début de matinée) et à l'inverse les niveaux les plus faibles sont obtenues en milieu d'après-midi. En revanche le sulfate d'ammonium n'est pas une espèce semi-

volatile, il est donc plus stable en phase particulaire : la variation des concentrations en sulfate est faible au cours de la journée. Les concentrations moyennes au cours de la journée pour la matière organique sont influencées par la combustion de biomasse ; les valeurs augmentent vers la fin de journée quand les chauffages notamment au bois, sont mis en route.

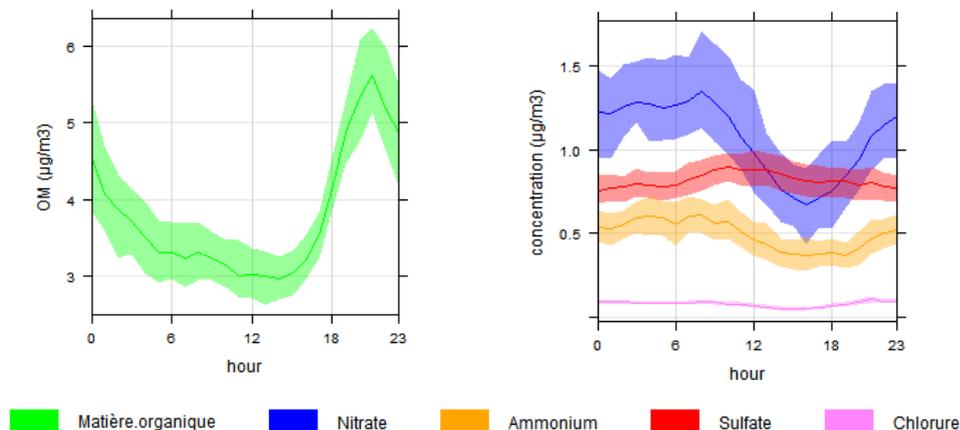


Figure 20 : Profils journaliers des 5 espèces chimiques mesurées par ACSM à Rennes

Les profils journaliers varient en fonction des saisons (Annexe V). Notons que le pic de matière organique dans la soirée est beaucoup moins marqué l'été (pas d'émissions liées à l'utilisation du chauffage à cette saison) et que les concentrations moyennes en nitrate et ammonium sont plus faibles et varient bien moins au fil de la journée l'été qu'au printemps.

V.2.3 Influence météorologique

La figure 21 présente l'influence des conditions météorologiques (direction et vitesse du vent) sur les concentrations en matière organique et en ions chlorure, ammonium, nitrate et sulfate. Un pas de temps horaire a été exploité afin de dégager un potentiel lien entre ces différents paramètres. Les roses de pollution saisonnières (mi-février à décembre 2020) par espèce chimique sont présentées en Annexe IV. L'analyse sur la période hivernale n'est pas proposée car les mesures ACSM ne sont pas disponibles pour les 2 premiers mois de l'année.

Les plus fortes concentrations en matière organique ($6-8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont observées par vents faibles ($< 5 \text{ m/s}$) dans la direction Est. L'influence saisonnière est marquée, les teneurs en composés organiques sont moins élevées ($4 - 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en été et sont liées à des vents de 3 m/s d'Est et des vents entre 5 et 10 m/s de secteur Nord-Ouest.

Le nitrate est issu de vents de Nord-Est associés à des vents entre 5 et 10 m/s . C'est au printemps que les plus fortes concentrations sont mesurées avec des vents de nord. En été, la concentration est négligeable en lien avec les températures élevées (composé semi-volatile).

L'ammonium présente des roses similaires à celles du nitrate ce qui confirme la présence de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3).

Le sulfate est également issu d'un secteur nord/nord-est avec des vents entre 5 et 10 m/s . L'influence printanière est marquée par les mêmes vents que pour le nitrate et l'ammonium.

Le chlorure, bien que négligeable dans les PM_{10} -NR, est associé à des vents faibles ($< 3 \text{ m/s}$) probablement en lien avec des sources locales et par vents de Nord entre 5 et 10 m/s . Comme pour le nitrate et l'ammonium, le printemps présente des fortes concentrations par vents de nord. Le chlore est une espèce qui s'associe également avec l'ammonium pour former du chlorure d'ammonium (NH_4Cl).

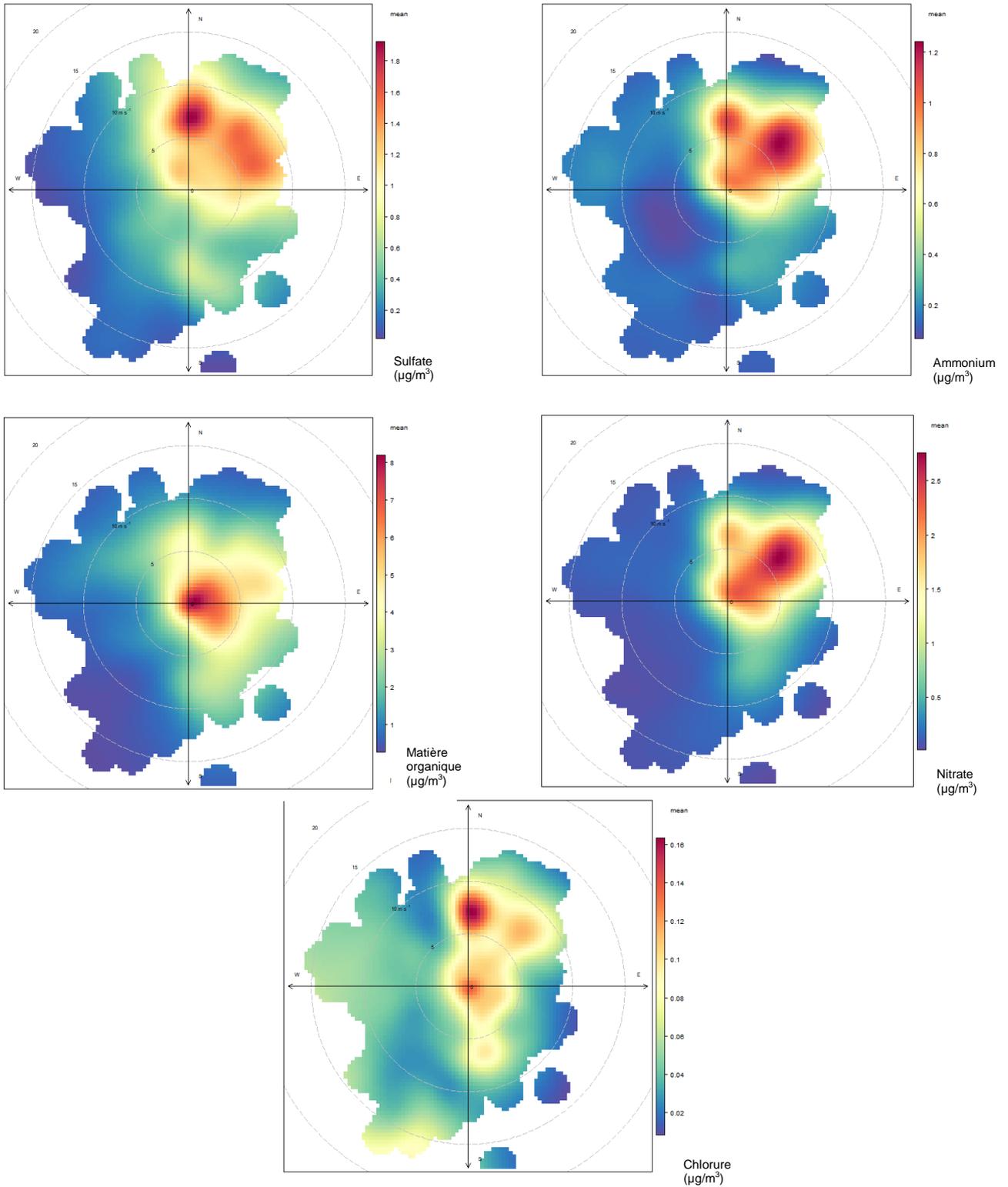


Figure 21 : Rose de pollution de la matière organique et des ions chlorure, ammonium, nitrate et sulfate pour le site de Rennes Pays-Bas de mars à décembre 2020

VI. Episode de pollution en mars 2020

Les 27 et 28 mars 2020, les concentrations en particules PM10 ont été élevées sur la région, dépassant sur certaines stations le seuil d'information/recommandation (IR) (50 µg/m³ en moyenne journalière).

Cet épisode de pollution n'était pas spécifique de notre région puisque la majeure partie du nord de la France a subi ce phénomène le 28 mars 2020 (les particules peuvent voyager sur de longues distances) (Figure 22). L'analyse de la provenance des masses d'air (Annexe V) montre une influence de la Normandie, des Pays-Bas, du Nord de l'Allemagne et de la Pologne avec notamment des altitudes de parcours assez basses ayant permis le chargement des masses d'air en polluants sur ces régions.

Le samedi 28 mars 2020, la moyenne journalière en PM10 mesurée à la station de fond Pays-Bas à Rennes est supérieure au seuil IR puisqu'elle est de 60 µg/m³. Cet épisode est survenu pendant le 1^{er} confinement ; période pendant laquelle le trafic routier a fortement baissé alors que d'autres activités telles que l'agriculture, le résidentiel ont été moins impactées.

Régulièrement à cette période printanière, la conjonction entre les activités anthropiques (chauffage, agriculture, transport) et les conditions météorologiques est propice à la formation et/ou au transport d'aérosols secondaires semi-volatils.

La mesure du carbone suie (Figure 23) permet de déterminer l'influence des phénomènes de combustion lors de cet épisode. Les 27 et 28 mars, cette contribution est faible puisque la combustion représente 17% et 11% des PM10 : le trafic routier contribue à seulement 4% des PM10 alors que la combustion de biomasse passe de 13% à 7% les 27 et 28 mars. Avec des conditions de trafic normales (hors contexte covid), les niveaux auraient probablement été plus conséquents.

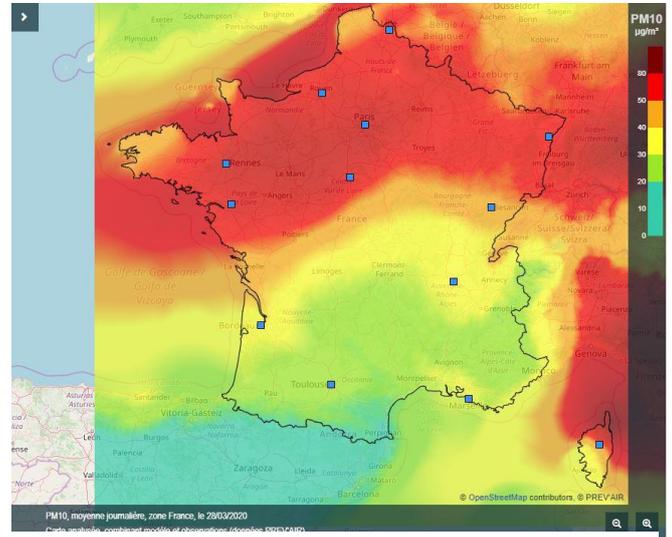


Figure 22 : Carte de France des concentrations journalières modélisées par Pre'air pour le 28/03/2020

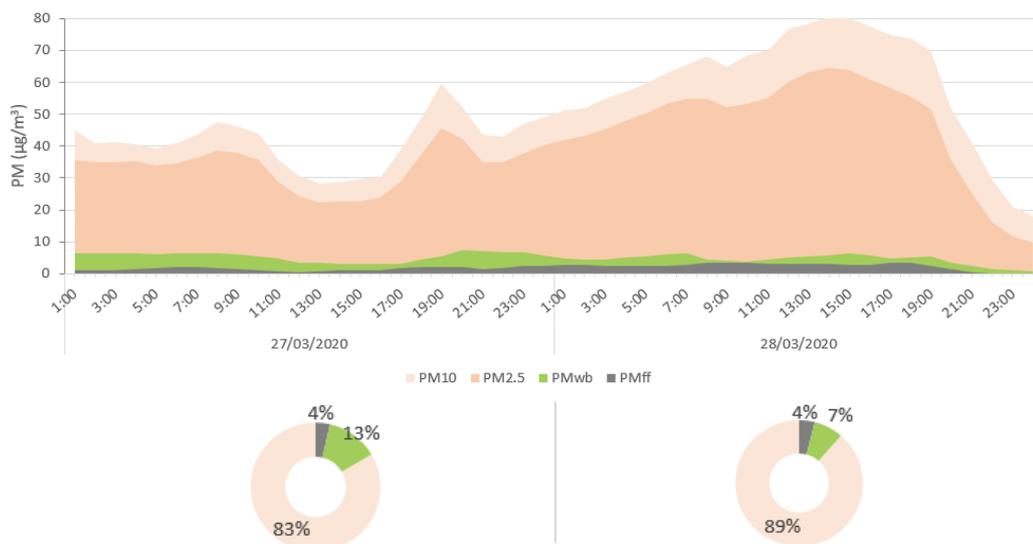


Figure 23 : Evolution temporelle des concentrations en moyenne horaire de PM10, PM2,5 et des fractions issues de la combustion de biomasse (PMwb) et de la combustion d'hydrocarbures (PMff) et contributions journalières de chacun des fractions lors des 27 et 28 mars 2020 à la station Pays-Bas à Rennes

La composition moyenne pendant l'épisode est différente de la situation normale.

La figure 24 présente les données de composition chimique des particules à Rennes durant cet épisode de début de printemps et montre une dominance des sources secondaires et plus particulièrement une forte influence du nitrate et du sulfate d'ammonium. Le ratio BC/SO_4^{2-} (utilisé comme indicateur qualitatif de pollution locale vs (supra)régionale¹² présente une diminution le 28 mars ce qui traduit l'import de PM10 et corrobore l'analyse des rétrotrajectoires en annexe V.

Notons la contribution d'une masse encore indéterminée dans les PM2,5 et d'autant plus dans les PM10 (30% et 34% respectivement les 27 et 28 mars). La contribution des PM1 dans les PM2,5 et PM10 diminue le 28 mars par rapport au 27 mars ce qui implique une part plus importante de la fraction grossière c'est-à-dire des particules de diamètre compris entre 2,5 et 10 μm . Ces composés non quantifiés par les analyseurs peuvent être liés à des particules d'origine naturelle telles que des sels marins ou encore des poussières minérales, importées par le mouvement des masses d'air. En effet, les outils de modélisation mettent en évidence des masses d'air en provenance des régions du nord de la France et des pays de nord-est de l'Europe.

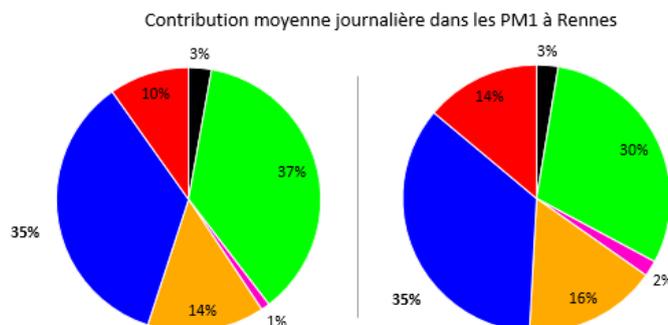
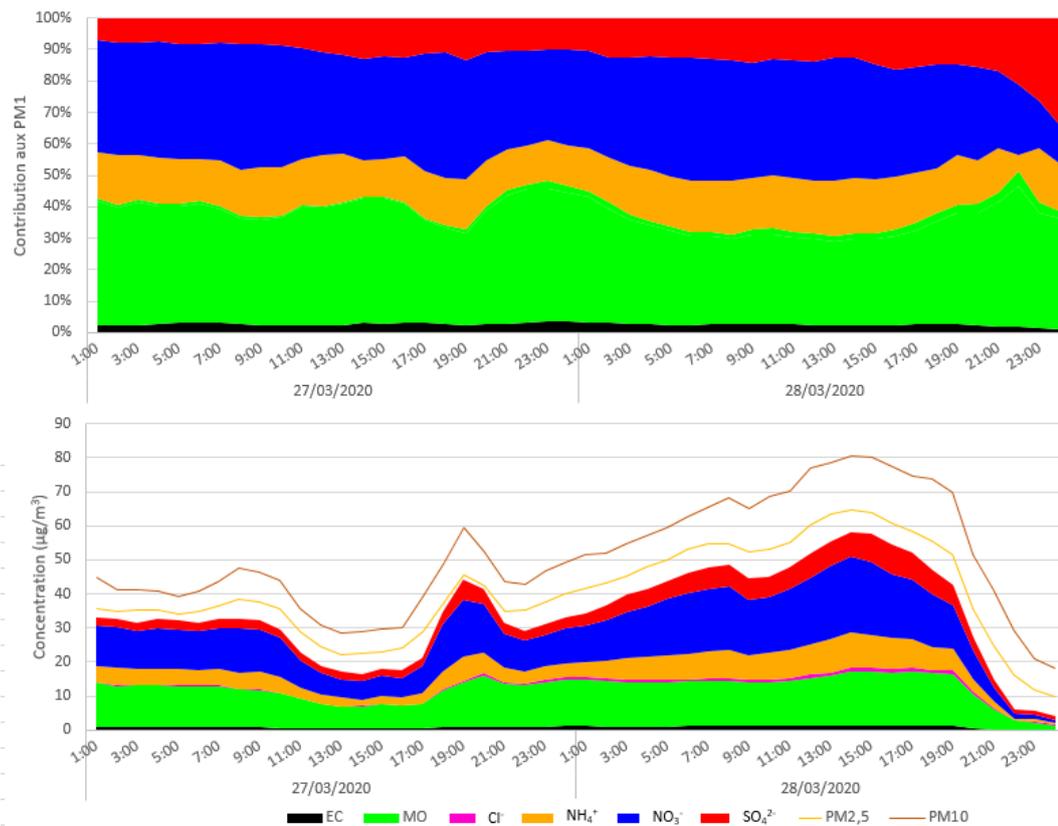


Figure 24 : Composition chimique des PM à Rennes les 27 et 28 mars 2020

¹² Compréhension des sources et des processus de formation de la pollution particulaire en région Ile-de-France, J-E Petit, Thèse de l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 2014

Cet épisode de pollution aux particules PM10 de fin mars a touché de nombreuses régions du Nord de la France. Le 28 mars, l'analyse de la composition chimique des particules met en évidence une faible contribution du trafic routier (4%), une part du chauffage au bois visible (7%) et que les composés inorganiques secondaires (ammonium, nitrate et sulfate) sont les espèces principales dans les PM1. Des imports de particules de régions voisines ou pays d'Europe se sont associés (sels marins, poussières terrigènes, particules liées aux activités agricoles...) aux sources locales.

VII. Conclusion

La station urbaine de fond Pays-Bas à Rennes est un site multi-instrumenté pour la mesure des PM dans le but d'étudier la composition chimique des particules. Cette dernière varie suivant les sources d'émissions mais dépend également des processus physico-chimiques qui ont lieu au cours du transport des particules.

Les paramètres suivis en continu au niveau de ce site :

- le **carbone suie** (BC) permettant de distinguer les 2 principales sources de combustion ; la combustion d'hydrocarbures comme le trafic routier et la combustion de biomasse telle que le chauffage au bois
- la **composition chimique** des particules submicroniques non réfractaires comprenant la matière organique et les ions majeurs (ions nitrate (NO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}), ammonium (NH_4^+) et chlorure (Cl^-)).

En moyenne sur l'année 2020, les **sources de combustion représentent 20% de l'origine des PM10** mesurées à la stations Pays-Bas à Rennes. Cette contribution varie fortement selon les saisons, en lien avec la contribution des PMwb, elle est plus forte pendant les mois d'hiver, là où les besoins en chauffage sont les plus importants (25% en décembre contre 6 % en juin). L'influence de la combustion d'hydrocarbures (trafic routier) n'est pas la principale source de PM10 et elle varie peu au cours de l'année.

En 2020, la moyenne annuelle du carbone suie est légèrement inférieure à celle mesurée en 2019, notamment avec une baisse du traceur de trafic (BCff). Plusieurs raisons expliquent cette différence, les conditions météorologiques mais aussi les restrictions en lien avec la pandémie de Covid qui a eu pour effet de baisser fortement le trafic routier.

Le 1^{er} confinement n'a pas eu un impact significatif sur les niveaux de PM puisque l'augmentation des concentrations en PM10 pendant cette période particulière traduit la diversité des sources d'émissions qui varient en fonction des saisons et de l'influence des conditions météorologiques.

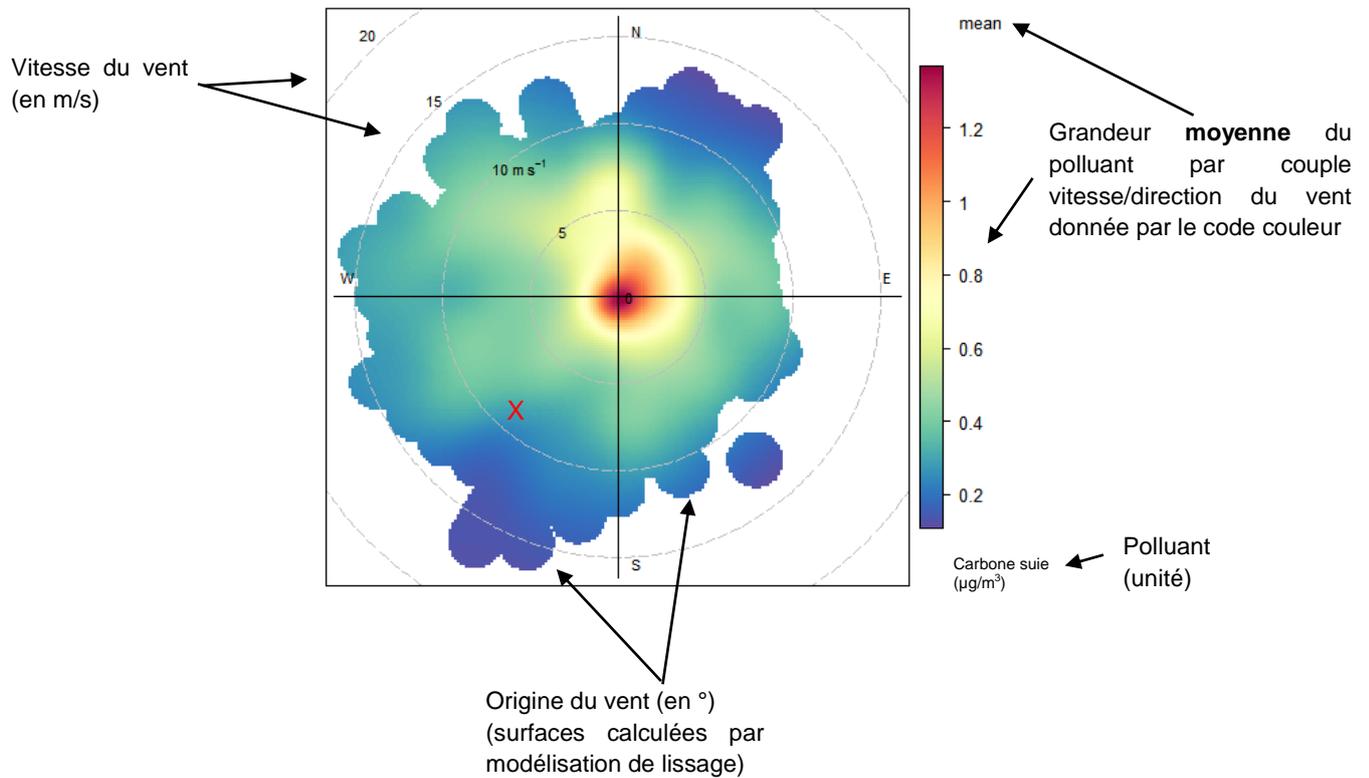
La **composition chimique des particules** varie au cours de l'année (mars à décembre) : toutes les espèces mesurées présentent une **forte saisonnalité** mais la matière organique est le composé dominant. Les particules secondaires jouent également un rôle non négligeable dans les concentrations en particules mesurées. En effet, le printemps est caractérisé par la présence du nitrate (NO_3^-) provenant de l'oxydation des NOx (émis par les procédés de combustion dont les transports routiers) et stabilisé par association avec l'ammoniac (émis par l'agriculture via l'élevage et l'utilisation d'engrais azotés). Alors que l'été, les sulfates (SO_4^{2-}) remplacent les nitrates puisque les conditions d'ensoleillement sont propices à l'oxydation photochimique du SO_2 .

Le département d'Ille-et-Vilaine a connu plusieurs dépassements du seuil d'information et recommandation. L'épisode de fin mars, en période de confinement, coïncide avec des conditions météorologiques printanières propices à la formation de particulaires inorganiques secondaires mais aussi de l'arrivée de masse d'air chargée de la zone Nord de la France et Nord-Est de l'Europe. Une part non négligeable (non déterminée par les analyseur) de particules grossières probablement d'origine naturelle (sels de mers, poussières terrigènes) était également présente pendant cet épisode. La composition chimique des particules lors de cet épisode est différentes de la composition moyenne annuelle.

En termes de perspective, les mesures réalisées avec l'ACSM peuvent être valorisées par l'application de techniques analytiques telles que les modèles de type source-récepteur (Positive Matrix Factorization (PMF)) qui permet d'identifier différentes sources. D'autre part, la mesure des particules ultrafines (diamètre inférieur à 100 nm soit 0,1 μm) va être mise en œuvre, ce qui permettra d'élargir la palette de caractérisation des particules sur le site rennais en ayant désormais un paramètre dédié aux plus petites tailles.

Annexe I : Lecture des roses de pollution

Les roses de pollution sont réalisées grâce au package Openair du logiciel R.



Exemple de lecture X : Concentration moyenne en carbone suie de 0,2 – 0,4 µg/m³ (cf échelle de couleur) pour des vents de Sud-Ouest à une vitesse d'environ 8 – 9 m/s.

Annexe II : Validation des données ACSM

Comparaison aux mesures PM1

La concentration massique des PM1-NR est calculée à partir de la somme des différents composés mesurés par l'ACSM (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 LCSQA¹³.

$$\text{PM1-NR (ACSM)} = [\text{OM}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NH}_4^+] + [\text{Cl}^-] \quad (1)$$

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

Il est ainsi possible de comparer la concentration en PM1 reconstitués (AE33+ACSM), somme des équation (1) et (2) avec la concentration massique des PM1 mesurée par fidas. Le coefficient de détermination (R^2) est égal à 0,9. Cette comparaison permet de valider les mesures de l'ACSM.

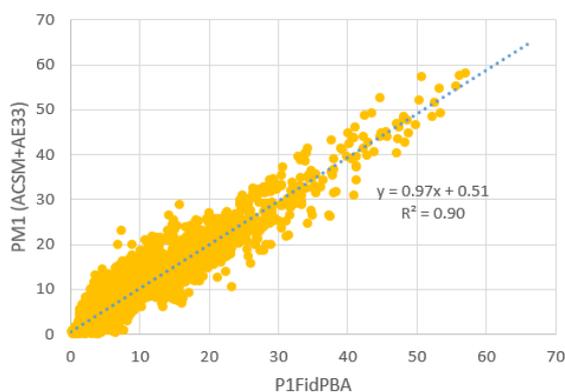


Figure 25 : Comparaison des données horaires (ACSM + AE33) avec les PM1 mesurées par fidas à la station Pays-Bas

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 24 est bonne (pente de 0,96 et R^2 de 0,91) ce qui indique que l'étalonnage des paramètres est correct en 2020.

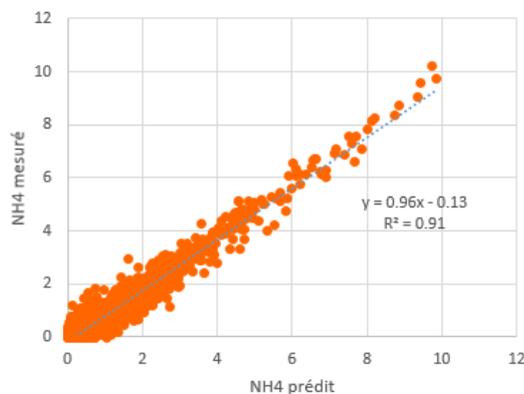


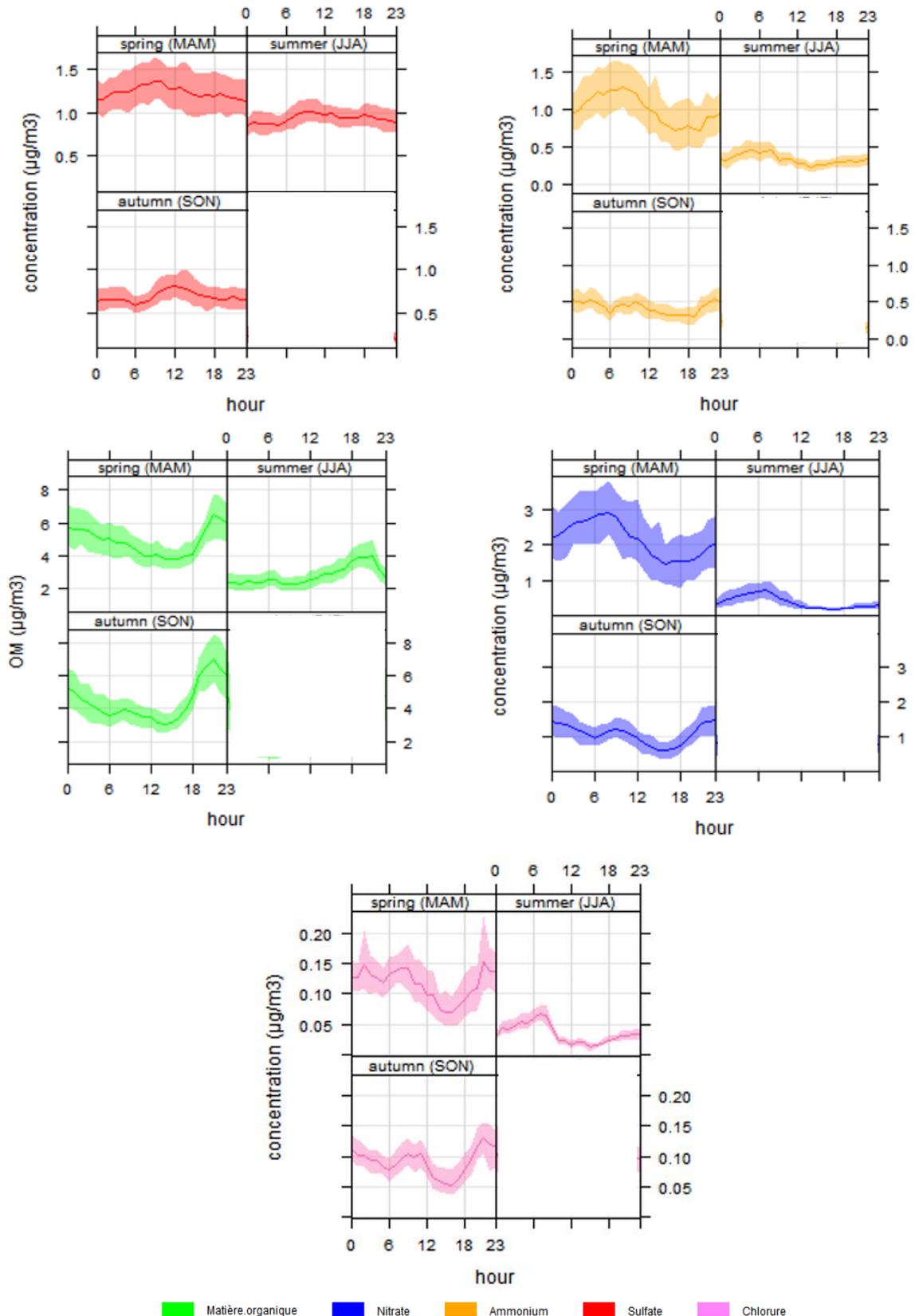
Figure 26 : Comparaison des données horaires NH_4^+ prédit et NH_4^+ mesuré de l'ACSM

¹³Guide méthodologique pour la mesure de la composition chimique des particules submicroniques non réfractaires (NR-PM1) par Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM), LCSQA, 2016

Annexe III : Profils moyens journaliers par saison

Les profils moyens journaliers par saison sont présentés pour chaque espèce mesurée par l'ACSM de mars à décembre 2020 au niveau de la station Pays-Bas à Rennes.

Les mesures réalisées en hiver ne sont pas représentatives de la saison car il n'y a pas de données de début janvier à mi-février 2020.

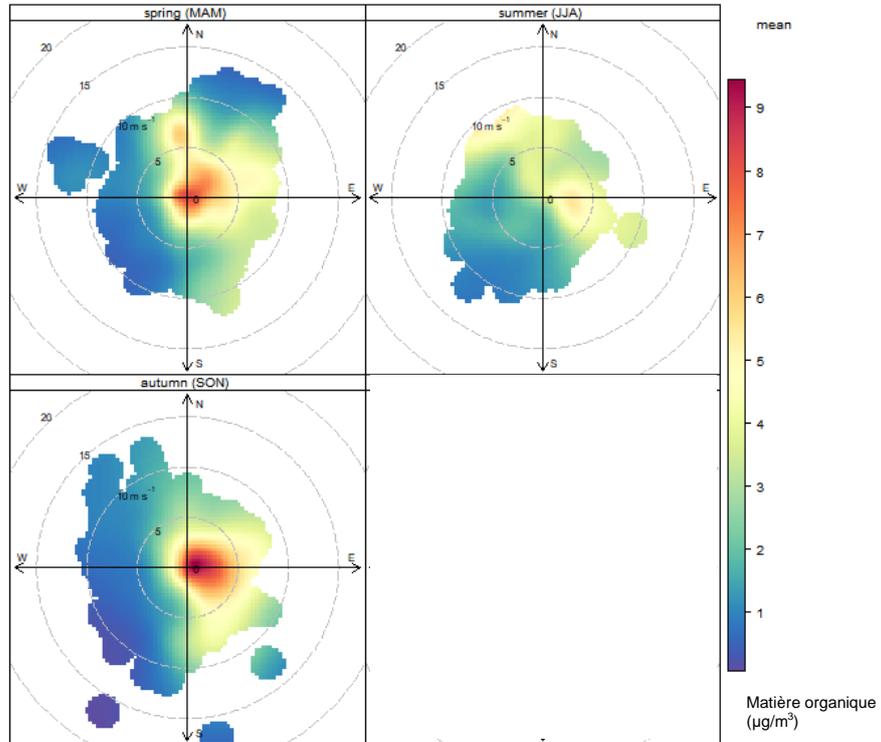


Annexe IV : Roses de pollution par saison

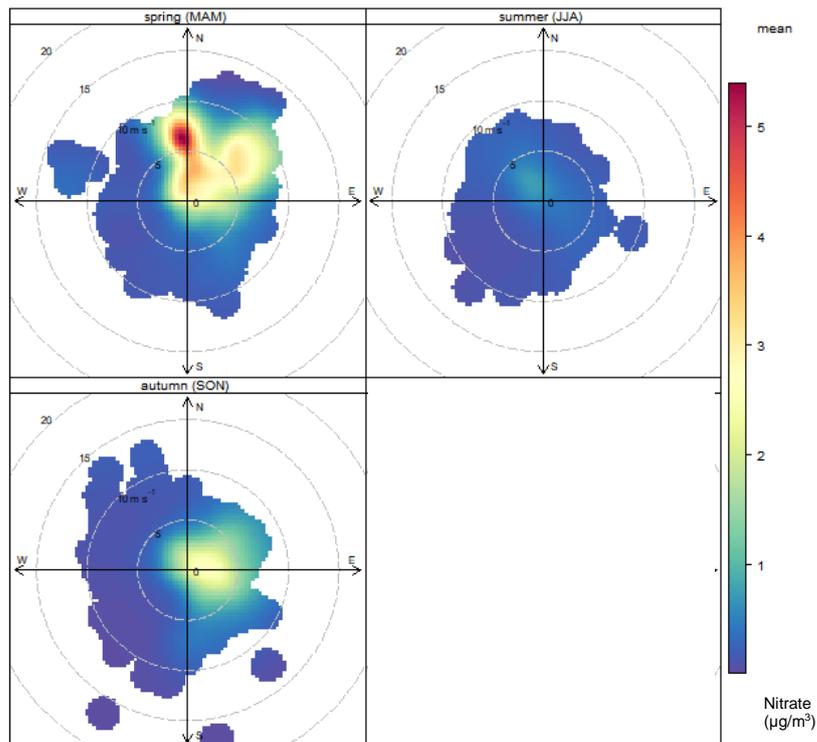
Ci-dessous les roses de pollution saisonnières par espèce chimique mesurée par l'ACSM de mars à décembre 2020 au niveau de la station Pays-Bas à Rennes.

Les roses de pollution de l'hiver ne sont pas fournies car il n'y a pas de données de début janvier à mi-février 2020.

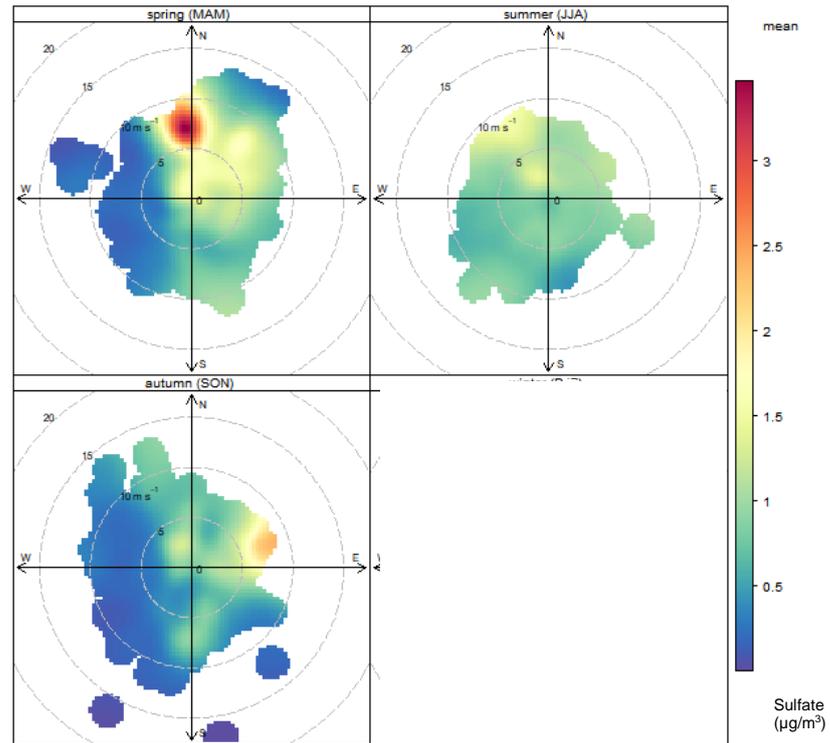
Matière organique



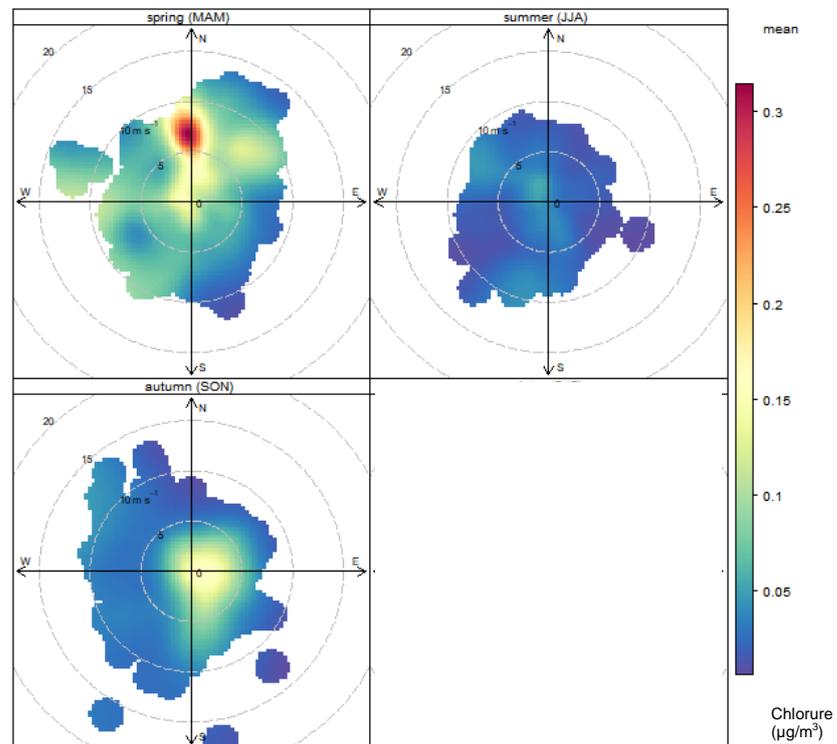
Nitrate



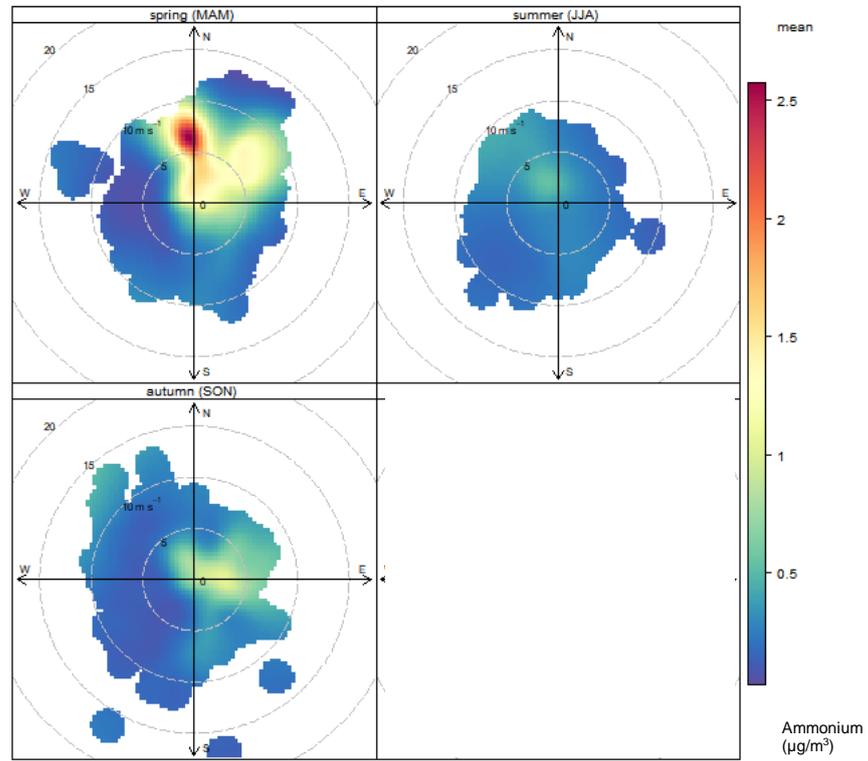
Sulfate



Chlorure

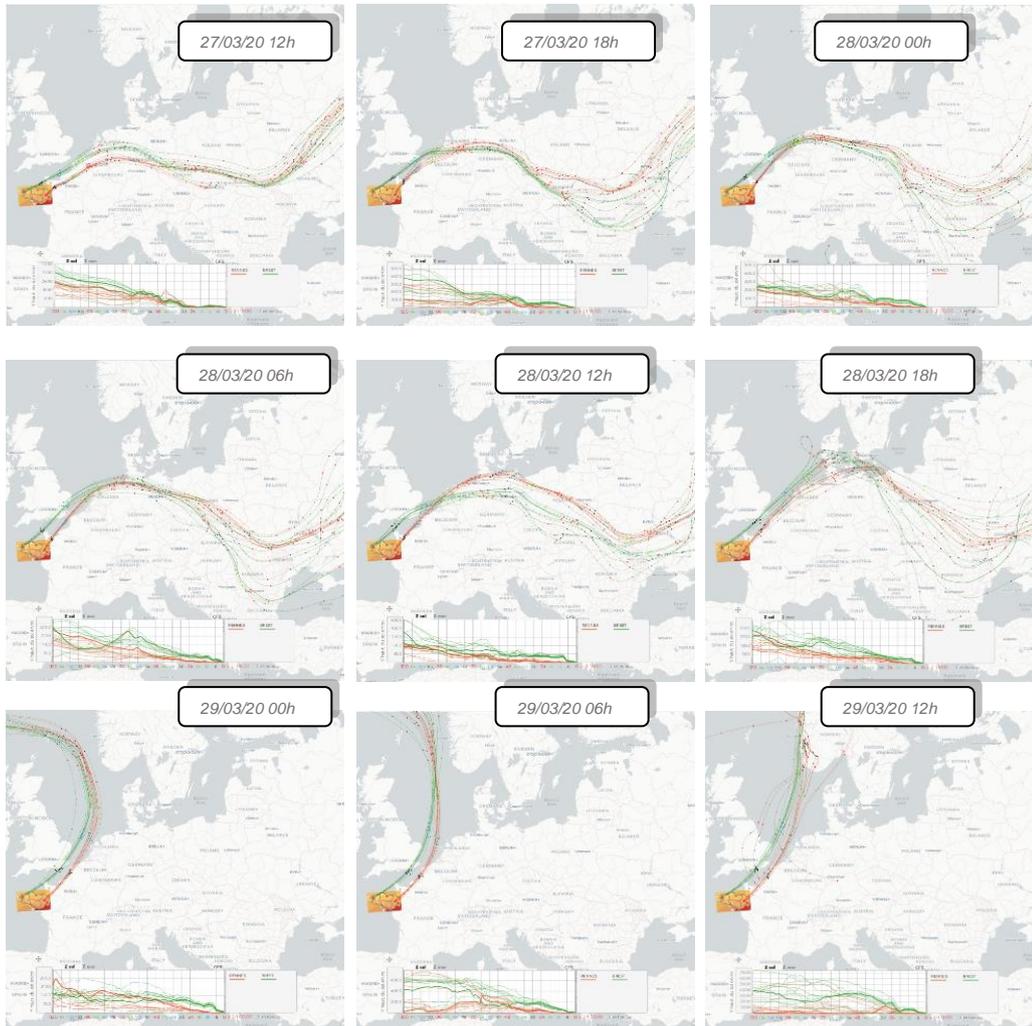


Ammonium



Annexe V : Analyse des rétrotrajectoires le 28 mars 2020

L'évolution des rétrotrajectoires (modèle GFS en heure TU) entre le 27 mars 2020 à 12h et le 29 mars à 12h (toutes les 6 heures), montre une provenance relativement constante des masses d'air jusqu'à la fin de journée du 28 mars. A partir du 29 mars 00h, les masses d'air présentes sur la Bretagne ont pour origine la mer du Nord, l'Islande et l'Atlantique Nord. Ce changement d'origine des masses d'air s'accompagne d'une diminution des concentrations en PM10 et d'une augmentation du vent.



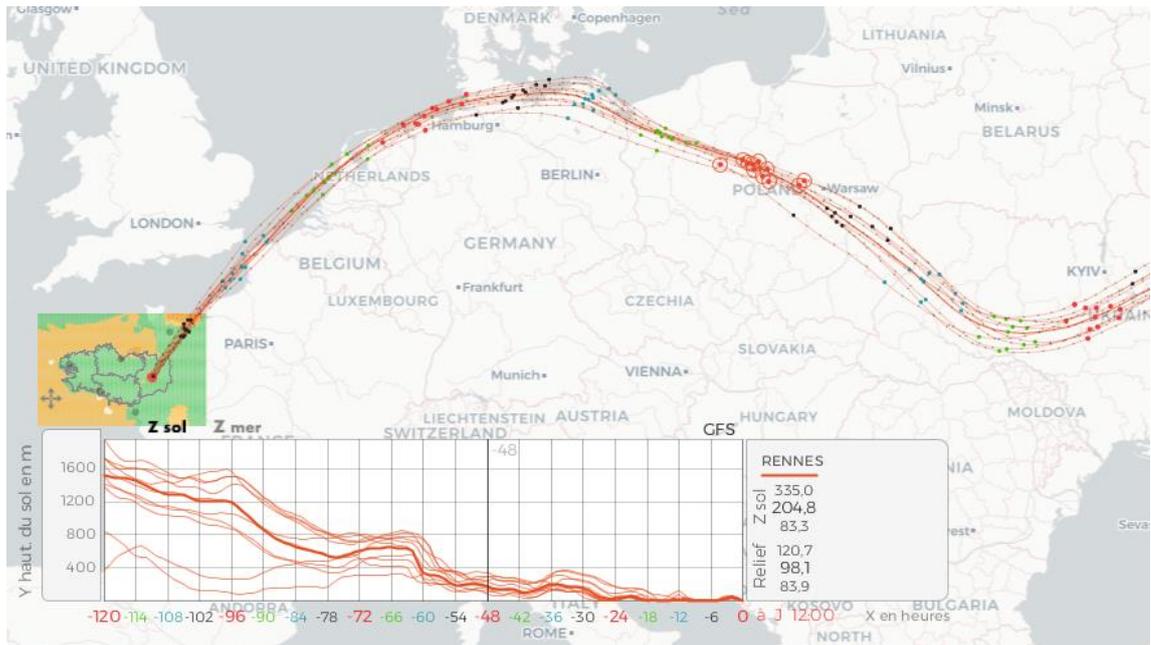
Les rétrotrajectoires ci-contre décrivent l'historique de déplacement d'une parcelle d'air sur l'ensemble du domaine européen.

Cette description cartographique s'accompagne d'une description de l'altitude de la parcelle d'air (jusqu'à une échéance de -120h) représentée sur chacun des graphiques accompagnant les rétrotrajectoires.

A l'heure de la rétrotrajectoire, la parcelle d'air est au niveau du point de mesures (2,5 m) et au cours de son historique de déplacement son altitude a pu varier de manière significative (de quelques mètres jusqu'à plusieurs kilomètres).

Rétrotrajectoires du 27 au 29 mars 2020 (Source CMM AIR BREIZH / GFS)

L'analyse plus fine des profils d'altitude des rétrotrajectoires, au moment des fortes concentrations (28 mars à 12h), permet de se rendre compte de la durée du trajet en basse altitude de ces masses d'air. En effet, pour la rétrotrajectoire de Rennes, le 28 mars à 12h, elles étaient situées à des altitudes inférieures à 400m jusqu'à une échéance de -54h. De cette échéance jusqu'au jour J (28/03/20 12h), les masses d'air ont survolé la Pologne, le nord de l'Allemagne, les Pays-Bas, la Manche et la Normandie.



Rétrotrajectoire et zoom sur le profil d'altitude du 28 mars pour Rennes (Source CMM AIR BREIZH – GFS)

Annexe VI : Présentation d'Air Breizh

Présentation d'Air Breizh

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 2017, de 18 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.

Missions d'Air Breizh

- Surveiller les polluants urbains nocifs (SO₂, NO₂, CO, O₃, Métaux lourds, HAP, Benzène, PM10 et PM2.5) dans l'air ambiant,
- Informer 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.

Réseau de surveillance en continu

La surveillance de la qualité de l'air pour les polluants réglementés est assurée via des d'analyseurs répartis au niveau des grandes agglomérations bretonnes. Ce dispositif est complété par d'autres outils comme l'inventaire et la modélisation, qui permettent d'assurer une meilleure couverture de notre région.

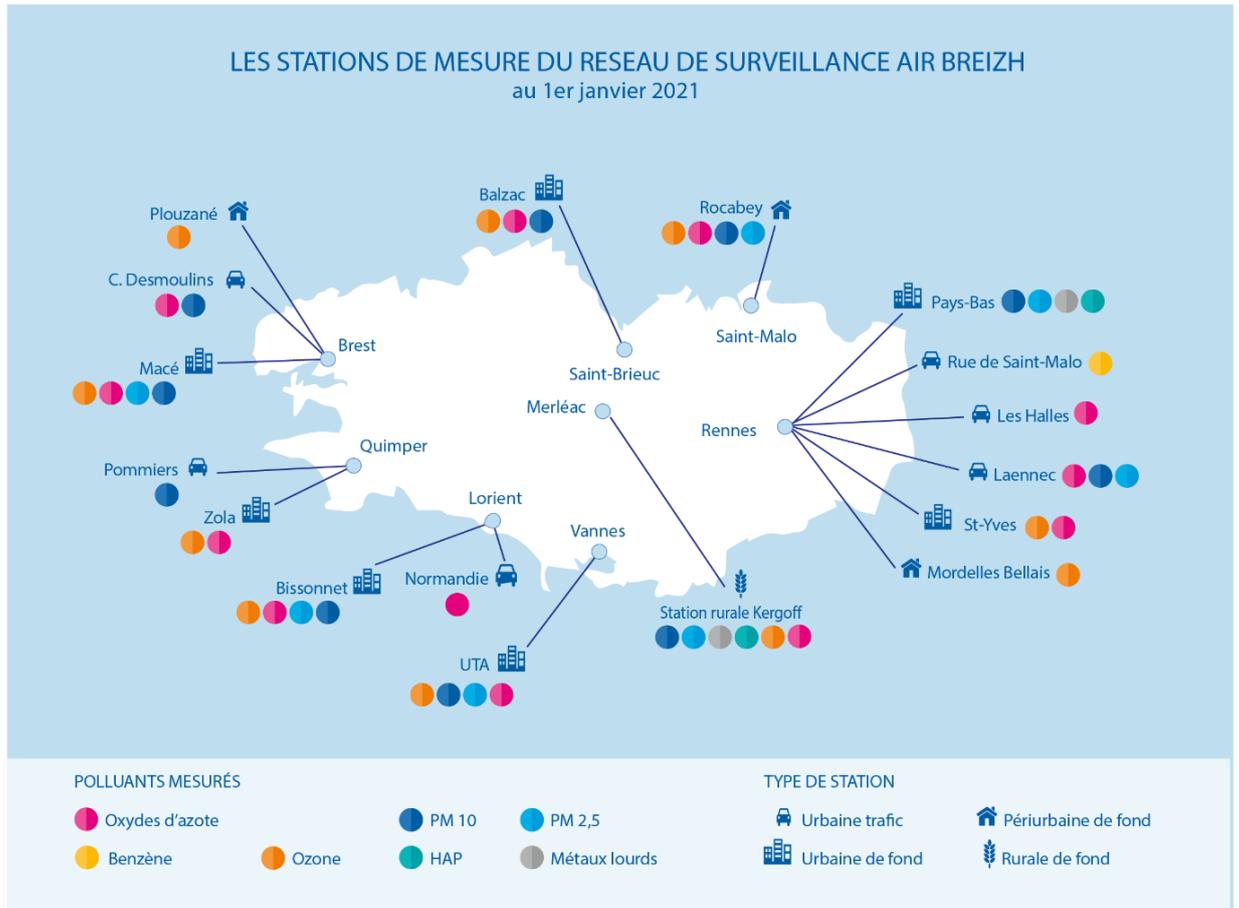


Figure 27: Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/01/2021)

Moyens

Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte treize salariés, et dispose d'un budget annuel de l'ordre d'1,5 million d'euros, financé par l'Etat, les collectivités locales, les émetteurs de substances polluantes, et des prestations d'intérêt général et produits divers.