



Rennes (35)

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas

De 2019 à 2022

Version du 05/06/2023

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

Etude réalisée par Air Breizh

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 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 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 :	Caractérisation chimique des PM _{2,5} et mesure de l'ammoniac à Saint-Malo (35)		
Version (date)	Modifications	Auteur	Validation
Version du 05/06/23	Création	R. Falhun (Ingénieure d'études)	O. Le Bihan (Responsable du service études) G. Lefeuvre (Directeur d'Air Breizh)

SOMMAIRE

Avertissements	2
Conditions de diffusion	2
Organisation interne – contrôle qualité	2
Sommaire.....	3
Table des figures.....	4
Liste des tableaux.....	4
Enjeux et objectifs	5
I. Matériel et méthode de mesure	6
I1. Mesure du carbone suie	6
I2. Méthodologie pour l'estimation de la contribution de la combustion de biomasse et d'hydrocarbures dans les PM10.....	6
II. Contexte des mesures	7
II1. Sites de mesure.....	7
II2. Période considérée.....	8
III. Résultats et interprétation des mesures.....	9
III1. Contrôle qualité des résultats	9
III2. Résultats des mesures	9
a) Résultats globaux en 2022.....	9
b) Variation pluriannuelle 2019 -2022 du carbone suie	10
c) Variation saisonnière du carbone suie	11
d) Variation journalière des PM liées à la combustion.....	13
e) Rose de pollution.....	14
IV. Etude jours marquants en 2022	15
IV1. Episode de mars 2022.....	15
IV2. Impact des feux de forêts	16
V. Conclusion	18
VI. Annexes	19
Annexe 1 : Présentation d'Air Breizh.....	20
Annexe 2 : Les émissions de carbone suie	22
Annexe 3 : Roses de pollution	23

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Aéthalomètre modèle AE33 à la station Pays-Bas	6
Figure 2 : Localisation de la station Pays-Bas à Rennes (Géoportail)	8
Figure 3 : BC mesuré en 2022 sur les sites urbains en France (Source : Géod'air)	10
Figure 4 : Suivi pluriannuel des concentrations en BC, BCff et BCwb à la station Pays-Bas à Rennes	11
Figure 5 : Variation saisonnière du BC à la station Pays-Bas à Rennes de 2019 à 2022	11
Figure 6 : Variation saisonnière du BCff à la station Pays-Bas à Rennes de 2019 à 2022	12
Figure 7 : Variation saisonnière du BCwb à la station Pays-Bas à Rennes de 2019 à 2022.....	12
Figure 8 : Comparaison des profils journaliers BCff et BCwb par saison de 2019 à 2022	13
Figure 9 : Profils journaliers moyens des concentrations en PMff, PMwb, PM2,5 et PM10 de 2019 à 2022 à la station Pays-Bas à Rennes	14
Figure 10 : Rose de pollution du BC de 2019 à 2022 à la station Pays-Bas à Rennes	14
Figure 11 : Roses de pollution annuelles du BC de 2019 à 2022.....	15
Figure 12 : Suivi temporel des PMff, PMwb, BC, PM10, PM2,5	16
Figure 13 : PM10, PM2,5 et BC durant les incendies en Gironde	17
Figure 14 : Rétrotrajectoires le 19/07/2022 (Source CMM Air Breizh GFS).....	17

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de la station Pays-Bas à Rennes.....	8
Tableau 2 : Taux de recouvrement des appareils (données horaires)	9
Tableau 3 : Moyennes annuelles 2022 et maximums horaires et journaliers	9

ENJEUX ET OBJECTIFS

Différents polluants atmosphériques gazeux et particulaires sont émis lors de la combustion de matière carbonée (gaz, pétrole, charbon et biomasse) dont les particules carbonées ou aérosols carbonés.

Le **carbone suie (BC)** fait partie de cette catégorie de particules, il est formé de trop peu d'hétéroatomes ¹(O, H, N..) pour être considéré comme organique. Il 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 deuxième.

Il est produit par la **combustion incomplète de combustibles d'origine fossile et de la biomasse**. Les principales sources sont les moteurs à combustion (diesel et autres carburants fossiles), la combustion résidentielle de bois et de charbon, l'utilisation de fioul lourd ou du charbon, le brûlage de déchets agricoles/végétaux, ainsi que les feux de forêt. Les contributions des principaux secteurs émetteurs de carbone suie aux différentes échelles (régionales, locales) sont présentées en Annexe 2.

Le BC est majoritairement présent dans les particules fines PM_{2,5} (diamètre inférieur à 2,5 µm) et se trouve particulièrement dans les PM₁ (diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm). Plus les particules sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les voies respiratoires. Du fait de sa petite taille, le BC pénètre profondément dans l'appareil respiratoire et favorise les risques cardio-vasculaires. Au-delà de ses propriétés physiques qui lui permettent de pénétrer profondément dans les poumons, **l'impact sanitaire** du BC est aussi en lien avec les propriétés chimiques des fractions organiques et métalliques. En effet, la présence du carbone suie s'associe à celle de carbone organique produit lors des processus de combustion incomplète. De plus, il peut être vecteur de produits chimiques à toxicité variable pour le corps humain (HAP, métaux lourds...).

Les effets de salissures sur les bâtiments sont les impacts sur l'environnement les plus évidents visuellement. Le dépôt de carbone suie sur des surfaces enneigées ou glacées réduit le pouvoir réfléchissant (albédo) et accentue leur fonte. Sa propriété à absorber le rayonnement solaire en fait le seul aérosol caractérisé par un forçage radiatif positif. Autrement dit, sa présence dans l'atmosphère participe au **réchauffement climatique**.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), dans son avis sur les polluants émergents dans l'air ambiant de 2018², recommande de compléter et de pérenniser l'acquisition de données sur le carbone suie dans l'air et préconise la surveillance de ce composé. L'Anses publie en 2019 un rapport³ sur les particules qui confirme les effets sur la santé (atteintes respiratoires, cardiovasculaires et décès anticipés) liés notamment au carbone suie et au carbone organique.

Les **objectifs** de ce rapport sont de :

- faire un bilan de ces 4 années de mesure du BC à la station urbaine de fond Pays-Bas à Rennes (station déplacée fin 2022 à la station Thabor),
- comparer les niveaux mesurés avec des autres sites en France,
- estimer la répartition des sources d'émissions du BC (trafic ou combustion de biomasse),
- analyser la variation journalière/saisonnière/pluriannuelle du BC et de ses sources,
- caractériser des jours marquants.

¹ Atome d'une molécule organique différent du carbone ou de l'hydrogène et non métallique

² Anses, Polluants « émergents » dans l'air ambiant – Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance de la qualité de l'air, 2018

³ Anses, Particules de l'air ambiant extérieur, 2019

I. MATERIEL ET METHODE DE MESURE

I1. Mesure du carbone suie

L'aéthalomètre multi-longueurs d'onde (de type AE 33) (Figure 1 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 PM_{2,5}.

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

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

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



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

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

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

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

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

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

I2. Méthodologie pour l'estimation de la contribution de la combustion de biomasse et d'hydrocarbures dans les PM₁₀

Après avoir calculé les deux sources du BC lié à la combustion d'hydrocarbures (BC_{ff}) et à la combustion de biomasse (BC_{wb}), il est ensuite possible de les utiliser pour **estimer les contributions de ces deux sources dans les concentrations en PM₁₀** à l'aide de coefficients issus de la littérature scientifique et d'études menées par le LCSQA. En l'absence d'information plus précise issue d'étude spécifique sur leurs valeurs, les facteurs appliqués à la station Pays-Bas sont ceux recommandés par défaut par le LCSQA⁴.

⁴ LCSQA, Guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par aéthalomètre multi longueur d'onde AE33 dans l'air ambiant, octobre 2020

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

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

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

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

En plus du carbone suie, PM_{ff} et PM_{wb} 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 (PM_{ff}). En revanche ces estimations n'intègrent pas les particules issues de l'abrasion des pneus, des freins, de la chaussée...

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

Les contributions calculées de PM_{ff} et PM_{wb} sont des estimations, il est important de les considérer comme des ordres de grandeurs et non pas des valeurs de mesure précises.

II. CONTEXTE DES MESURES

II.1. Sites 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 2), 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 (Aérosol Chemical Spéciation Monitor) a été installé. Les résultats de cette 1^{ère} année de caractérisation chimique des particules à Rennes ont été exploitées et un rapport est disponible sur le site internet⁵.

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

Des modifications d'aménagement dans l'environnement proche de la station ont mené à sa **fermeture en décembre 2022** et à son remplacement par une nouvelle station urbaine de fond « Thabor »⁶ située en centre-ville de Rennes, proche du parc Thabor.

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

⁶ Air Breizh, Station FR19039 « Thabor » - Etude préliminaire à l'implantation d'une station de surveillance de la qualité de l'air de type urbain de fond à Rennes (35), octobre 2021

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

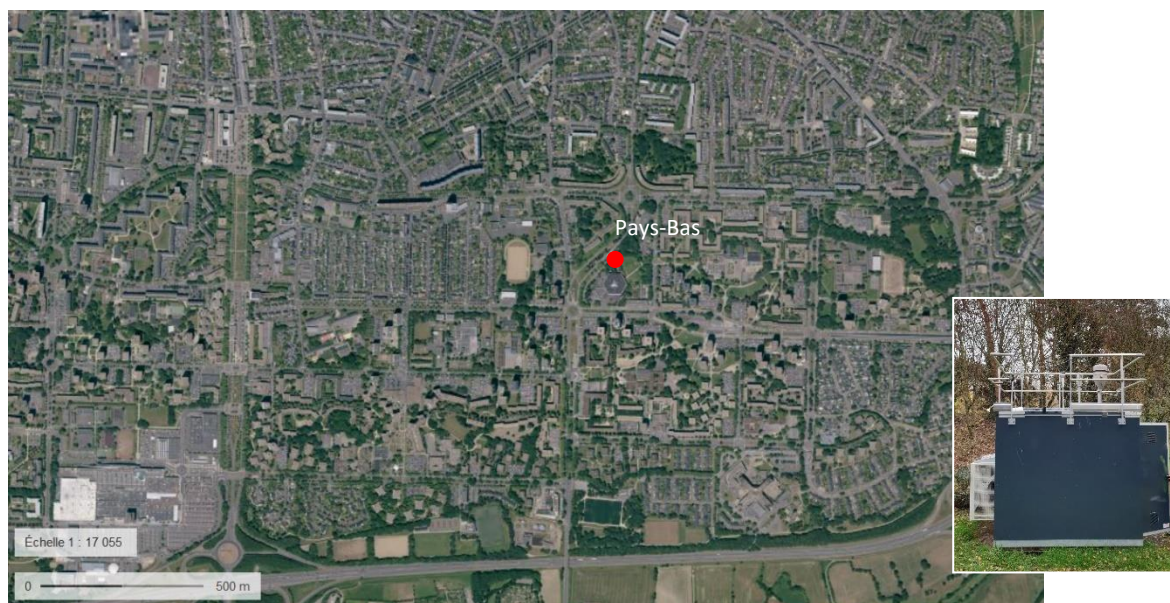


Figure 2 : Localisation de la station Pays-Bas à Rennes (Géoportail)

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	PM10, PM2.5, HAP, métaux lourds
Réglementés	PM1, Carbone suie, PM1-NR
Non réglementés	

II2. Période considérée

Dans ce rapport, les 4 années de mesure du carbone suie de 2019 à 2022 sont prises en compte. Les **3 premières années de mesure du BC** ont déjà été valorisées dans **3 documents disponibles sur le site internet d'Air Breizh** :

- Air Breizh, Etude du carbone suie à Rennes – Bilan de la première année de mesure (2019), octobre 2020,
- Air Breizh, Caractérisation des particules à Rennes – Bilan 2020, mars 2020,
- Air Breizh, Mesure du carbone suie à Rennes – Bilan 2021, juillet 2022.

III.RESULTATS ET INTERPRETATION DES MESURES

Au préalable, un contrôle qualité a été effectué pour vérifier la validité des mesures.

III1. Contrôle qualité des résultats

Pour assurer une bonne représentativité des mesures sur la période d'évaluation. Pour le traitement des données de mesure des polluants réglementaires, le taux de recouvrement doit être supérieur à 85%, conformément à l'Arrêté du 16 avril 2021⁷.

Les taux de recouvrement de l'analyseur en continu de BC durant les 4 années de mesure sont présentés dans le Tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Taux de recouvrement des appareils (données horaires)

	Taux de couverture
2019	96%
2020	94%
2021	94%
2022	86%

Notons que 2022 présente une couverture temporelle moins élevée du fait de l'arrêt de la mesure début décembre dans le cadre du déménagement de la station Pays-Bas.

Les taux de recouvrement de l'AE33 sont tous supérieurs à 85 %, ce qui est satisfaisant pour l'exploitation des données de mesure.

III2. Résultats des mesures

a) Résultats globaux en 2022

La concentration moyenne annuelle ainsi que le maximum horaire et journalier sont présentés pour le BC et pour les deux sources de BC dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Moyennes annuelles 2022 et maximums horaires et journaliers

Concentrations (µg/m³)		
BC	Moyenne annuelle	0,5
	Max horaire	15,0
	Max journalier	2,8 29/11/2022
BCff	Moyenne annuelle	0,4
	Max horaire	11,1
	Max journalier	1,9 29/11/2022
BCwb	Moyenne annuelle	0,1
	Max horaire	4,4
	Max journalier	0,9 29/11/2022

⁷ Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

En 2022, la concentration moyenne annuelle de carbone suie mesurée à la station Pays-Bas à Rennes est de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le **BC est émis principalement par la combustion d'hydrocarbures (73%)**.

Il est proposé de comparer le niveau de carbone suie de la station Pays-Bas à Rennes en 2022 avec ceux des autres sites urbains de France (Figure 3).

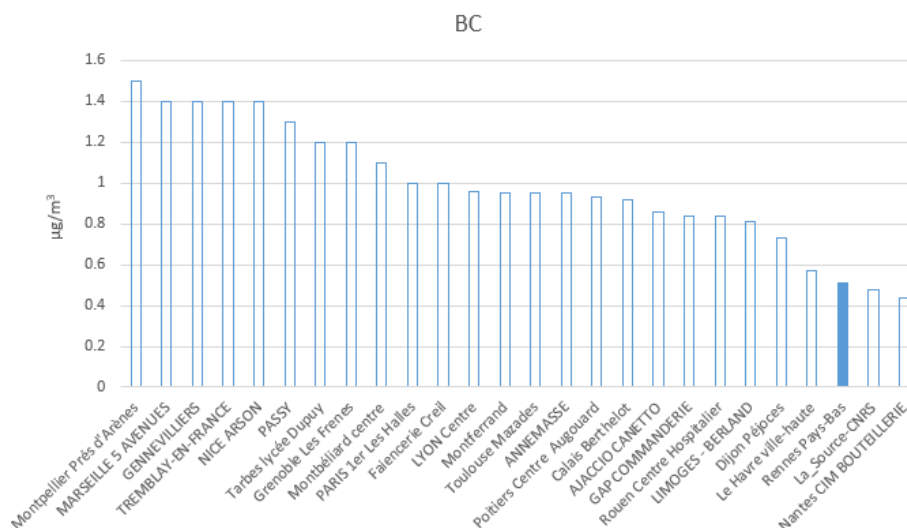


Figure 3 : BC mesuré en 2022 sur les sites urbains en France (Source : Géod'air)

En 2022, le **site de Rennes** se situe parmi les sites urbains présentant les **plus faibles concentrations de BC en France** avant Orléans (La Source CNRS) puis Nantes (CIM Bouteillerie). C'est dans le sud de la France et en Ile-de-France que les plus forts niveaux sont mesurés en station urbaine de fond.

Notons que c'est au niveau des sites trafic que les plus fortes concentrations en carbone suie sont enregistrées avec par exemple la station Boulevard Périphérique Est à Paris ($4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022).

En ce qui concerne la contribution de la combustion de biomasse dans le BC à la station urbaine de Rennes (27%), elle est similaire à celle rencontrée au niveau de station de même typologie en Haut-de-France par exemple (17-27%)⁸. Pour les sites trafic, la proportion de la combustion d'hydrocarbures est plus importante (84-90%) que pour les sites urbains.

A titre indicatif, la concentration moyenne de carbone suie BC durant les 4 années (2019 - 2022) de mesure à la station Pays-Bas à Rennes est de $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentration moyenne en BC en 2022, à la station Pays-Bas à Rennes, est de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ainsi la station urbaine de fond se situe parmi les sites présentant les plus faibles concentrations en BC de France.

La combustion d'hydrocarbures représente 73% du BC et celle de la biomasse 27%. Cette répartition des sources de BC est comparable à celle des stations de même typologie.

b) Variation pluriannuelle 2019 -2022 du carbone suie

Les moyennes annuelles des concentrations en BC, BCff et BCwb mesurées à la station Pays-Bas à Rennes durant les 4 années 2019 -2022 sont présentées dans la Figure 4.

⁸ Atmo Hauts-de-France, Evaluation et sources du Black Carbon en Hauts-de-France, juin 2022

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

Une **variation pluriannuelle importante** est constatée avec une baisse du BC de -45% entre 2019 et 2022. Le BCff montre une diminution de -48% de 2019 à 2022 avec la plus forte baisse de 2019 à 2020. Les réaménagements réalisés aux alentours de la station (travaux de voirie avenue de Pays-Bas, construction immeuble à proximité...), les restrictions mises en place dans le cadre du covid-19 expliquent cette baisse. Quant au BCwb, son évolution est relativement stable, même si de 2019 à 2021 une légère augmentation (+4%) est constatée puis il baisse de 2021 à 2022 (-39%). En effet, 2022 fut une année présentant des températures supérieures aux normales.

Les résultats de l'année 2020 sont impactés par le confinement lié au covid 19 comme évoqué dans le bilan 2020⁹.

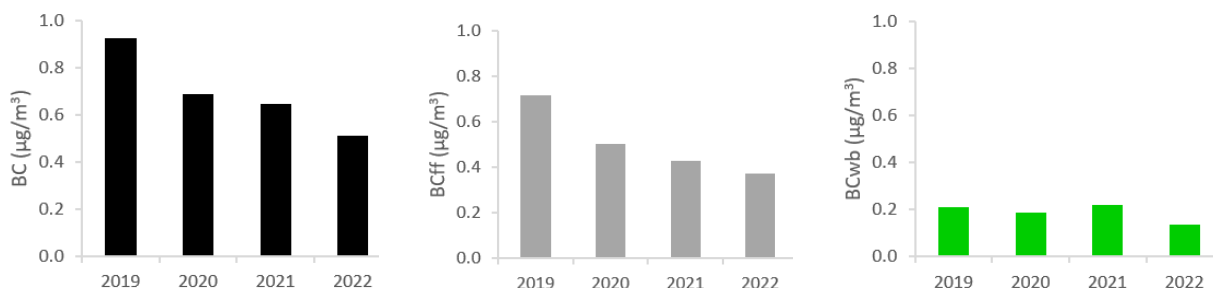


Figure 4 : Suivi pluriannuel des concentrations en BC, BCff et BCwb à la station Pays-Bas à Rennes

Le BCff montre une diminution significative (-48%) de 2019 à 2022. Le BCwb reste relativement stable de 2019 à 2021 puis une baisse est constatée en 2022 (-39% par rapport à 2021).

c) Variation saisonnière du carbone suie

Le BC présente une **variation saisonnière pour les 4 années** (Figure 5). Elle est plus marquée pour l'année 2019, avec une concentration moyenne plus élevée en hiver alors que pour les 3 autres années de 2020 à 2022 c'est à l'automne que les niveaux sont les plus hauts. Les conditions météorologiques hivernales des 3 dernières années (températures moins rigoureuses et hiver 2020 pluvieux) peuvent expliquer ces différences.

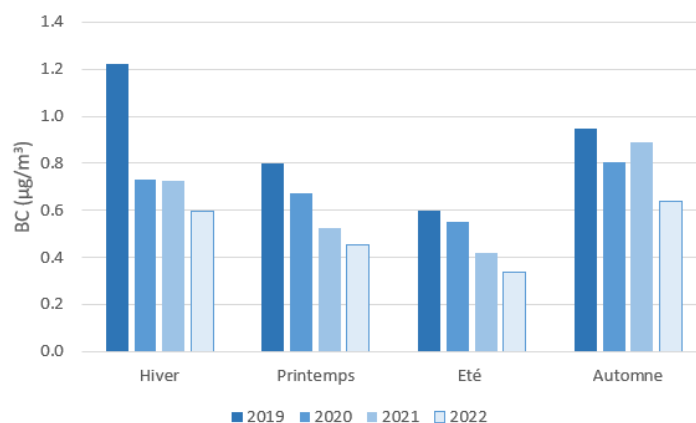


Figure 5 : Variation saisonnière du BC à la station Pays-Bas à Rennes de 2019 à 2022

⁹ Air Breizh, Caractérisation des particules à Rennes – Bilan 2020, mars 2020

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

La variation saisonnière du BCff (Figure 6) est similaire à celle du BC total. C'est en période froide (hiver et automne) que les concentrations sont les plus fortes (conditions météorologiques moins dispersives).

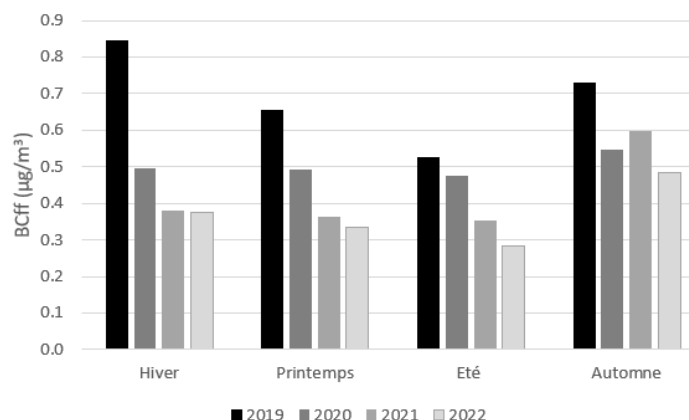


Figure 6 : Variation saisonnière du BCff à la station Pays-Bas à Rennes de 2019 à 2022

Le BCwb est lié au chauffage au bois c'est pourquoi il est fortement impacté par les températures ambiantes. En effet, il est plus faible durant l'été. Les moyennes en BCwb les plus élevées sont mesurées à l'hiver 2019 et 2020 qui sont les 2 périodes présentant les plus faibles températures. L'impact du confinement en lien avec la pandémie de covid est visible au printemps 2020. L'année 2022 présente les plus faibles moyennes pour toutes les saisons

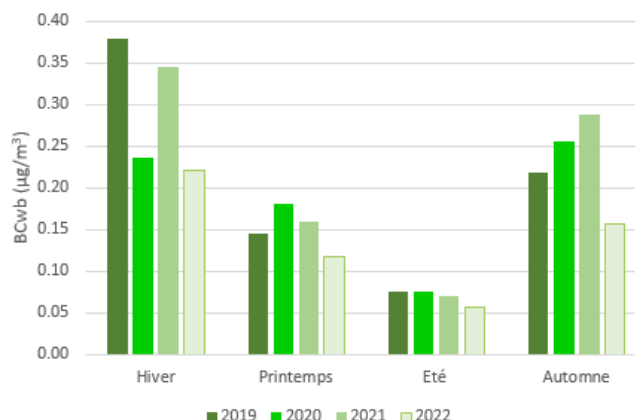


Figure 7 : Variation saisonnière du BCwb à la station Pays-Bas à Rennes de 2019 à 2022

L'analyse des **profils journaliers saisonniers** du BCwb et BCff (Figure 8) met en avant des différences dans les variations au fil de la journée. Le **BCff** se démarque avec **2 pics significatifs**, notamment à l'automne et à l'hiver, liés aux heures de pointe (7h-9h le matin et 17h-20h le soir). Ces pics sont moins marqués aux périodes chaudes (printemps, été). La fraction de carbone suie liée à la combustion de biomasse, **BCwb**, est plus importante durant la **soirée** (18h-23h) du fait de l'utilisation du chauffage au bois à l'automne et à l'hiver.

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

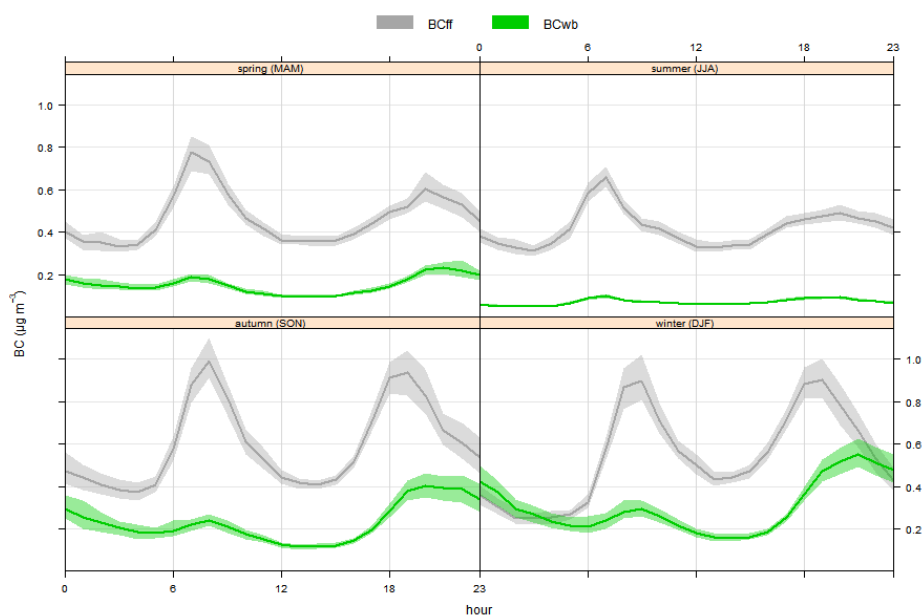


Figure 8 : Comparaison des profils journaliers BCff et BCwb par saison de 2019 à 2022

La variation saisonnière du BC est marquée ; il présente des concentrations plus importantes en période froide (hiver ou automne selon l'année). Le BCff montre une variation saisonnière significative et similaire à celle du BC. Le BCwb, issu du chauffage au bois, est très impacté par les températures ambiantes, il est donc très faible durant l'été.

Les profils journaliers saisonniers sont également variables selon les périodes de l'année. Deux pics significatifs de BCff, corrélés aux heures de pointe, sont constatés à toutes les saisons bien qu'ils soient plus présents en période froide. Le BCwb est plus important dans la soirée notamment l'hiver.

d) Variation journalière des PM liées à la combustion

Comme précisé précédemment (cf I.1), l'AE33 permet de distinguer les sources de carbone suie dans les PM_{2,5}. Il est ensuite possible d'estimer les PM₁₀ liées à la combustion de biomasse et à la combustion d'hydrocarbures notées respectivement PMwb et PMff. Elles sont principalement constituées du BC et d'aérosols organiques primaires. La part restante de PM₁₀ est notamment composée d'aérosols inorganiques secondaires, de sels marins, de poussières minérales et de métaux.

La Figure 9 présente les profils moyens journaliers des PMff, PMwb, PM₁₀ et PM_{2,5} de 2019 à 2022 au niveau de la station Pays-Bas à Rennes. La fraction des particules PM₁₀ issues de la combustion de biomasse, PMwb, varie de 1,1 à 3.1 µg/m³ en soirée (20h). Ainsi les PMwb contribuent de 13% à 28% des particules PM₁₀ mesurées à la station Pays-Bas à Rennes. Les niveaux de PMff évoluent de 0,6 à 1,4 µg/m³ durant la journée marquée par les heures de pointe. La contribution des PMff est plus faible variant de 5 à 10% des PM₁₀ dans la journée. **Le trafic local n'est pas une source importante aux particules PM₁₀.** Les deux sources de combustion : les PMff et les PMwb représentent respectivement 7% et 13% des PM₁₀ en moyenne journalière.

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

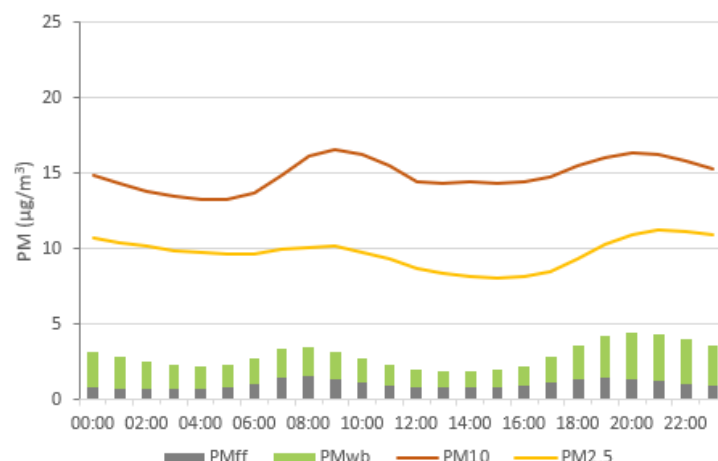


Figure 9 : Profils journaliers moyens des concentrations en PMff, PMwb, PM2,5 et PM10 de 2019 à 2022 à la station Pays-Bas à Rennes

En moyenne de 2019 à 2022, les particules PM10 issues de la combustion d'hydrocarbures présentent 2 pics journaliers liés aux heures de pointe du trafic. Les particules PM10 issues de la combustion de biomasse sont plus élevées en soirée.

La contribution des PMwb dans les PM10 (13%) est plus importante que celle des PMff (7%) dans les PM10. Les deux sources de combustion contribuent à environ 20% des particules PM10 en moyenne journalière durant les 4 années de mesure.

e) Rose de pollution

La Figure 10 représente la rose de pollution pour le BC de 2019 à 2022 au niveau de la station Pays-Bas à Rennes avec les données Météo France de la station Rennes-St Jacques (Annexe 3). Les plus fortes concentrations de BC sont observées par vent faible (< 3m/s) ce qui indique une influence locale.

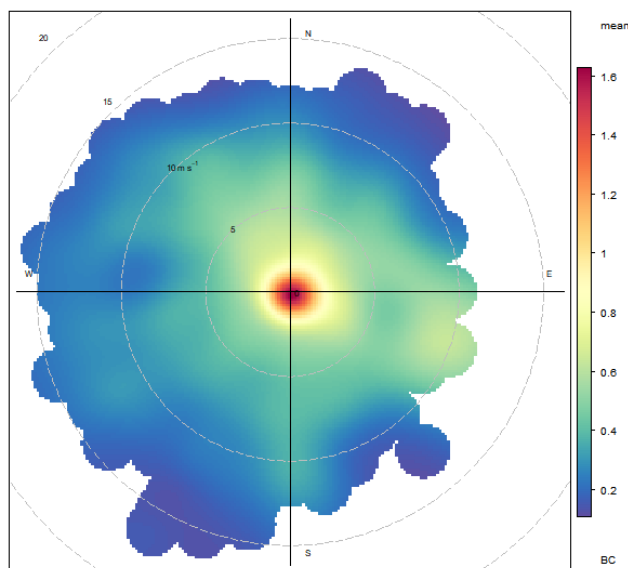


Figure 10 : Rose de pollution du BC de 2019 à 2022 à la station Pays-Bas à Rennes

Les roses de pollution annuelles du BC (Figure 11) confirment les constats réalisés précédemment en ce qui concerne les variations de 2019 à 2022. Les concentrations les plus fortes sont mesurées en

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

2019 et 2021 toujours par vent <3 m/s alors qu'en 2022 les concentrations sont plus faibles. En 2019, une influence de Nord-Ouest est visible par vent inférieur à 10 m/s.

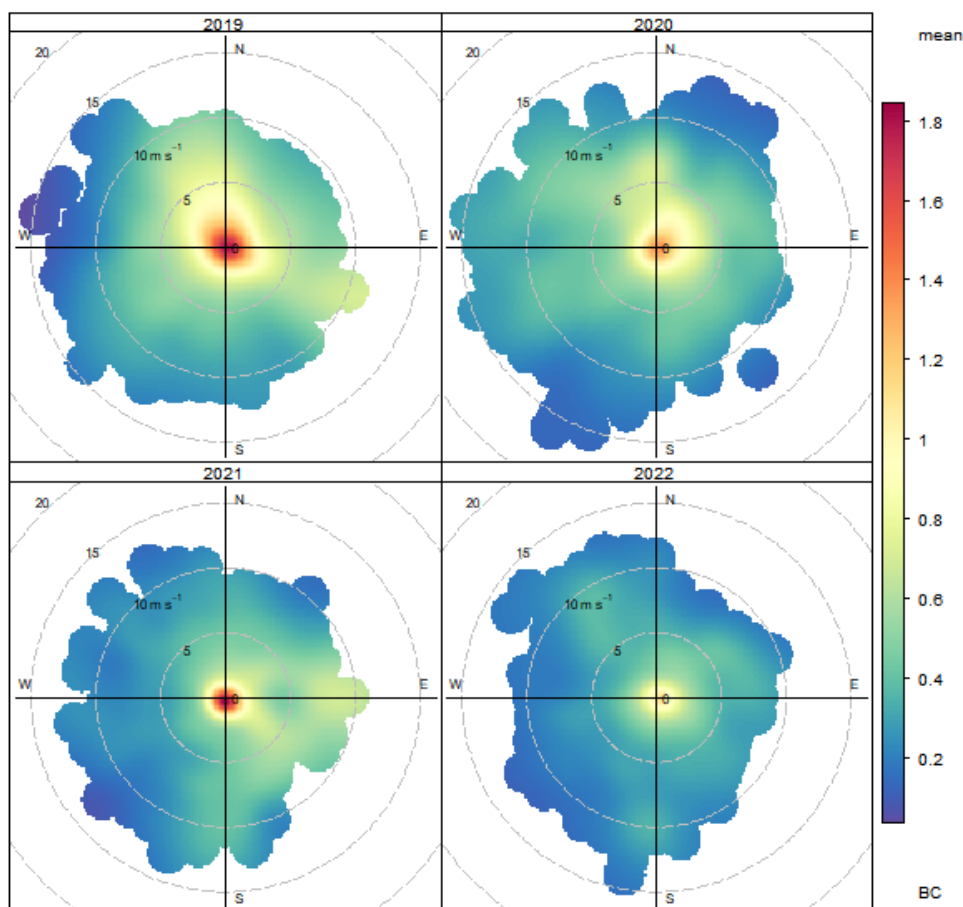


Figure 11 : Roses de pollution annuelles du BC de 2019 à 2022

IV. ETUDE JOURS MARQUANTS EN 2022

IV1. Episode de mars 2022

Durant plusieurs jours consécutifs, du 24 mars au 30 mars 2022, la Bretagne a été concernée par des **dépassement du seuil IR des PM₁₀** (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière).

A Rennes, les concentrations journalières les plus fortes en PM₁₀ sont mesurées les 24 et 30 mars 2023 (Figure 12) avec 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les deux sources de combustion (biomasse et hydrocarbures) peuvent expliquer jusqu'à 35% de la masse des PM₁₀ mesurées le matin du 24 mars. C'est notamment les PM_{wb} qui contribuent le plus avec environ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir du 26 mars, les contributions des deux sources locales : le trafic et le chauffage au bois représentent moins de 5 à 10% des PM₁₀ mesurées. Ainsi, ce sont d'autres polluants (nitrate d'ammonium, poussières crustales...) qui sont responsables de la hausse des concentrations durant cet épisode.

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

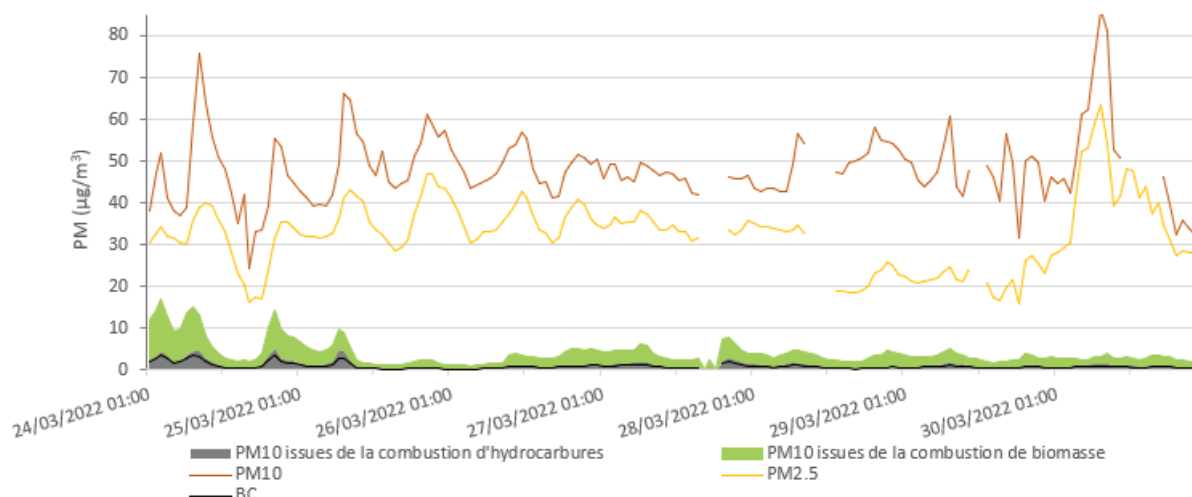


Figure 12 : Suivi temporel des PM_{ff}, PM_{wb}, BC, PM₁₀, PM_{2,5}

Cet épisode de pollution a été analysé dans le cadre de la campagne menée à Saint-Malo¹⁰. L'import de masses d'air chargées en particules en suspension associé à des conditions météorologiques propices à l'accumulation et à la formation de particules (nitrate d'ammonium), et la remontée de poussières sahariennes ont été mis en avant.

La mesure du BC peut aider à mieux comprendre la nature des épisodes de pollution. L'épisode du mois de mars 2023 s'explique par la contribution de plusieurs sources liées à différents phénomènes anthropique (activités agricoles, combustion) et naturel (remontée de poussières sahariennes).

IV2. Impact des feux de forêts

En 2022, les canicules conjuguées aux faibles précipitations ont entraîné des feux de forêts importants en France. Au total ce sont 72 000 hectares d'espaces naturels qui ont été dévastés par les feux (6 fois supérieure à la moyenne)¹¹.

En Bretagne, l'été 2022 a été marqué par des feux qui se sont déclarés dans les monts d'Arrée dans le Finistère et dans la forêt de Brocéliande dans le Morbihan. L'impact des feux bretons n'a pas été constaté à Rennes ; les vents n'ont pas entraîné les panaches au niveau de la Métropole Rennaise. C'est en Gironde que des incendies exceptionnels ont détruit 30 000 hectares de forêt et ont émis des quantités importantes de particules fines vers l'atmosphère. L'impact des fumées est totalement dépendant du facteur météorologique (vent, pluie).

Des niveaux importants en particules ont été mesurés par Atmo Nouvelle Aquitaine entraînant le déclenchement des procédures d'alerte PM₁₀ pour certains départements (Gironde, Landes).

Le 19 juillet, le panache a balayé le territoire national vers le nord et l'est. En effet, à Rennes à la station Pays-Bas, à 10h TU, la concentration moyenne horaire en PM₁₀ atteint 84 µg/m³ (Figure 13). Ce pic sporadique est corrélé à un pic en carbone suie à 2,2 µg/m³ (la moyenne en BC l'été, à la station urbaine

¹⁰Air Breizh, Campagne de caractérisation chimique des PM_{2,5} et suivi de l'ammoniac à Saint-Malo, février 2023

¹¹ <https://www.ecologie.gouv.fr/feux-foret-et-vegetation>

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)

de fond est inférieure à $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) essentiellement composé de BC issu de la combustion de bois (environ 70%).

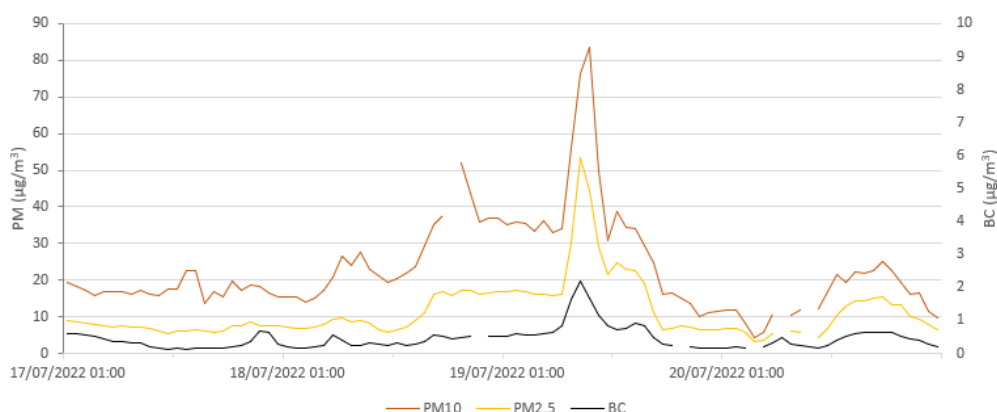


Figure 13 : PM10, PM2,5 et BC durant les incendies en Gironde

Les rétro trajectoires (Figure 14) confirment l'influence des feux de forêt puisque les masses d'air mesurées à Rennes se sont chargées en particules au passant par la Gironde.

Des pics PM10 dépassant les $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire, ont été mesurés cette même journée jusqu'à Limoges, dans l'après-midi ou encore Clermont-Ferrand dans la soirée¹².

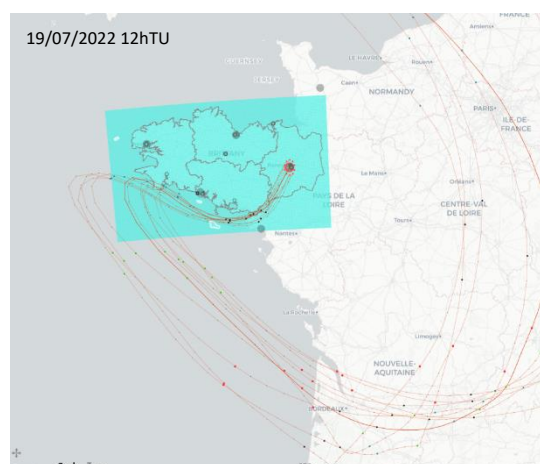


Figure 14 : Rétrotrajectoires le 19/07/2022
(Source CMM Air Breizh GFS)

Le carbone suie est un indicateur pour tous les types de combustion non complète. Il peut être utilisé comme traceur en cas de feux de forêt. Le panache lié aux incendies survenus cet été en Gironde a affecté une grande partie du territoire métropolitain.

¹² LCSQA, Feux de forêts en Gironde : les mesures des concentrations et de la composition chimique des particules confirment le parcours du panache sur le territoire, juillet 2022

V. CONCLUSION

Ce rapport présente les résultats des 4 années (2019-2022) de suivi en continu du carbone suie et de ses deux sources principales au niveau de la station urbaine de fond Pays-Bas à Rennes. L'aethalomètre (AE33) est utilisé pour la mesure du BC et permet de distinguer le carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures et celui lié à la combustion de biomasse.

La **concentration moyenne annuelle en BC en 2022**, à la station urbaine de fond Pays-Bas à Rennes, est de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La **combustion d'hydrocarbures**, c'est-à-dire le trafic routier, représente **73% du BC** alors que la **combustion de biomasse**, le chauffage au bois, **constitue 27% du BC**.

En comparaison avec d'autres sites urbains en France, la station urbaine de fond rennaise se situe parmi les sites présentant les moyennes annuelles en BC les plus faibles.

La **variation pluriannuelle** du carbone suie montre une **diminution importante** de -45% de 2019 à 2022 (réaménagements aux alentours de la station, influence de la température ambiante sur l'utilisation du chauffage). Le BCff montre une évolution pluriannuelle similaire à celle du BC. En revanche, le BC issu de la combustion de biomasse (BCwb) est relativement stable durant ces 4 années avec une très légère augmentation de 2019 à 2021 puis une baisse de 2021 à 2022.

La **variation saisonnière du BC** est marquée avec des **concentrations moyennes plus fortes en période froide** ($0,6 - 1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et **plus faibles en été** ($0,3 - 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Le BCff varie de la même manière que le BC au fil des saisons. Pour le BCwb, la différence entre les moyennes estivales et les moyennes en période froide est importante du fait de l'utilisation du chauffage au bois.

Les **profils journaliers saisonniers** sont également variables selon les périodes de l'année. Le **BCff** se caractérise avec **2 pics significatifs, corrélés aux heures de pointe**, à toutes les saisons bien qu'ils soient plus marqués en période froide. En cohérence avec l'utilisation du chauffage au bois, le **BCwb** est **plus important en soirée** notamment l'hiver.

Les **particules issues de la combustion d'hydrocarbures représentent 7% des PM10** en moyenne journalière alors que **la contribution de la combustion de biomasse dans les PM10 est de 13%** à la station Pays-Bas. De la même manière que pour le BC, les profils journaliers des PM10 issues de la combustion d'hydrocarbures présentent 2 pics liés aux heures de pointe du trafic et les PM10 issues de la combustion de biomasse sont plus élevées durant la soirée (19h-23h).

La mesure du BC permet de **mieux comprendre la nature des épisodes de pollution**. L'épisode de pollution aux PM10 du mois de mars 2023, qui a concerné plusieurs départements bretons, s'explique par la contribution de plusieurs sources liées à différents phénomènes anthropique (activités agricoles, combustion) et naturel (remontée de poussières sahariennes). En effet, au début de cet épisode les phénomènes de combustion contribuent à environ 35% des concentrations horaires massiques en PM10 dans la matinée du 24 mars. A partir du 26 mars, les influences sont différentes et les sources locales : trafic et chauffage représentent moins de 5 à 10 % des PM10 mesurées.

Le BC peut être utilisé comme **traceur en cas de feux de forêt**. En effet, l'été 2022 a été marqué par des incendies exceptionnels. Les panaches issus des feux en Gironde ont été mesurés jusqu'à Rennes.

Pour donner suite à la **fermeture de la station Pays-Bas fin 2022**, c'est au niveau de la **nouvelle station urbaine de fond Thabor** que la **mesure du carbone suie** est réalisée **depuis janvier 2023**.

VI. ANNEXES

Annexe 1 : Présentation d’Air Breizh	20
Annexe 2 : Les émissions de carbone suie	22
Annexe 3 : Roses de pollution	23

ANNEXE 1 : PRESENTATION 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.

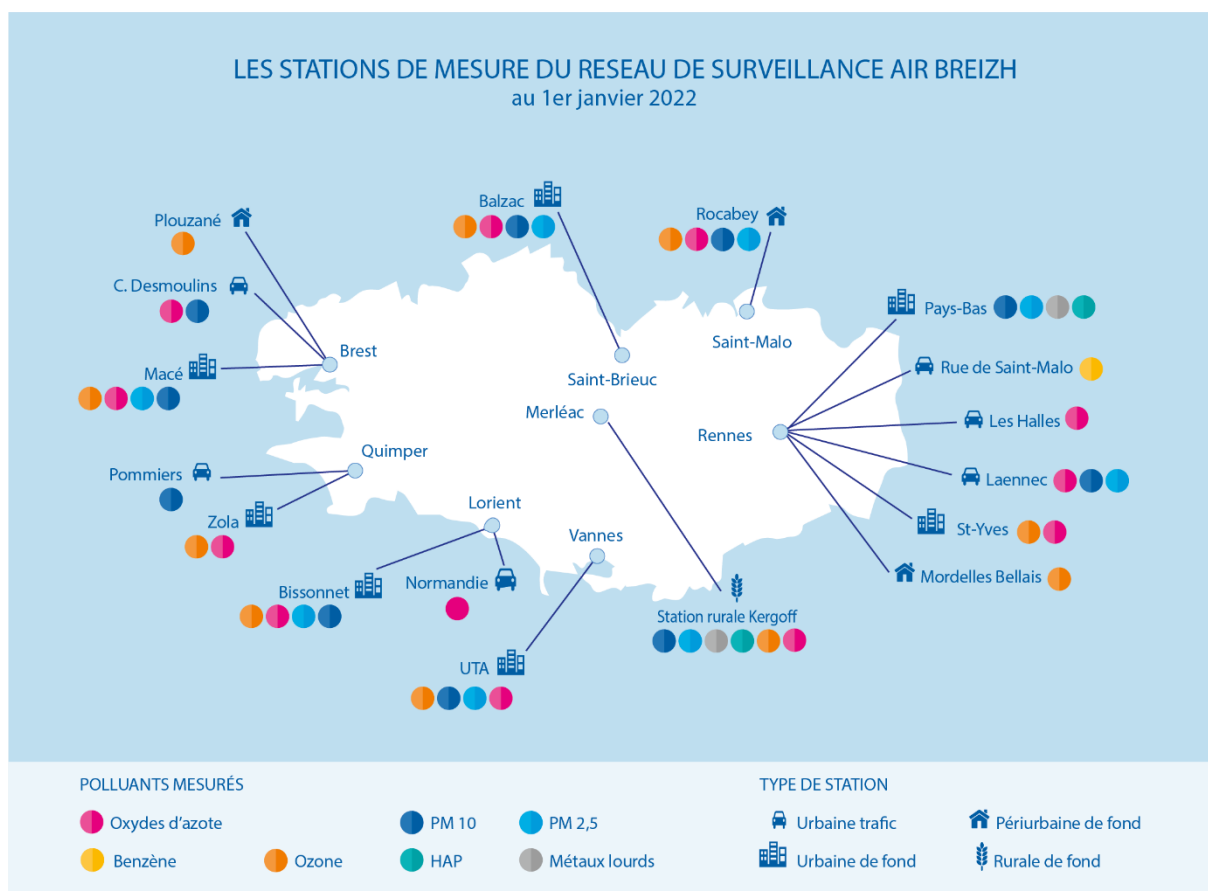
Missions d'Air Breizh

- Surveiller les polluants urbains nocifs (SO₂, NO₂, CO, O₃, Métaux lourds, HAP, Benzène, PM₁₀ et PM_{2,5}) 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,

Bilan de la mesure du carbone suie à la station Pays-Bas – Rennes (35)



Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/01/22)

Moyens

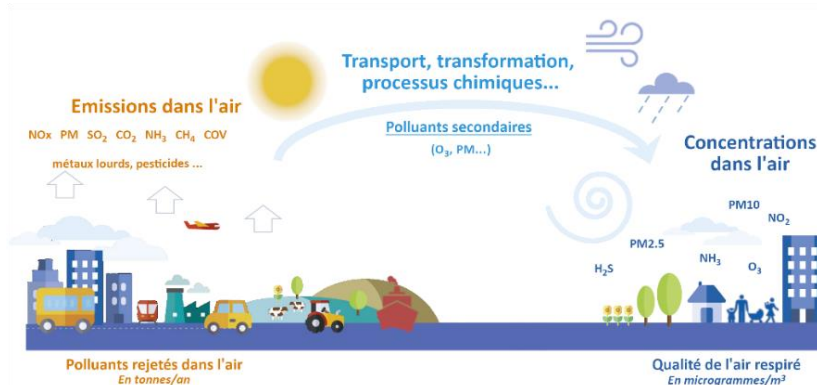
Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte seize salariés, et dispose d'un budget annuel de l'ordre de 2 millions d'euros, financé par l'Etat, les collectivités locales, les émetteurs de substances polluantes, et des prestations d'intérêt général et produits divers.

ANNEXE 2 : LES EMISSIONS DE CARBONE SUIE

Des émissions aux concentrations

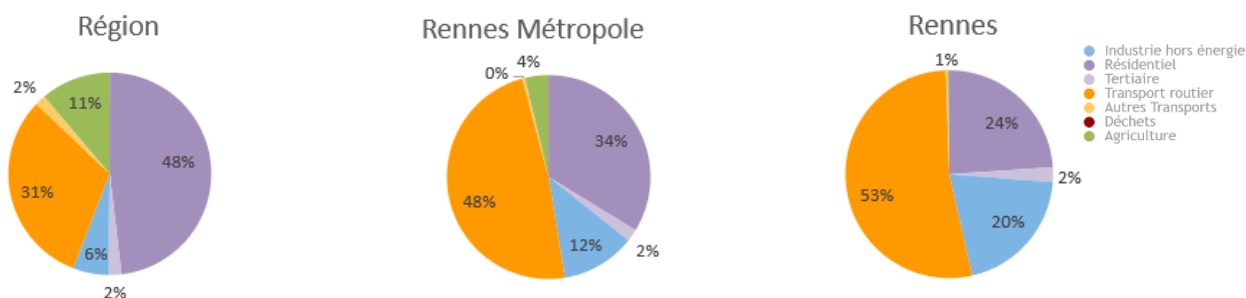
Les **émissions de polluants** (exprimées souvent en tonnes/an) correspondent aux **quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère**.

Elles sont à ne pas confondre avec les concentrations de polluants (exprimées généralement en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) qui caractérisent la qualité de l'air respiré. Cette dernière résulte d'un équilibre complexe entre les émissions et différents phénomènes auxquels les espèces chimiques sont soumises une fois dans l'atmosphère sous l'action de la météorologie : transport, dispersion par le vent et la pluie, dépôts (sur le sol et dans les cours d'eau) ou réactions chimiques des composés entre eux sous l'effet du soleil par exemple.



La figure ci-dessous représente la **répartition par secteur** des émissions de carbone suie en 2020 aux échelles de la **région**, de la **métropole** et de la **commune** de Rennes. Ces données sont issues de l'inventaire spatialisé des émissions atmosphériques v5 (ISEA) d'Air Breizh¹³.

Le **BC** est émis par les mêmes activités aux différentes échelles géographiques. Cependant, les contributions varient. Au niveau régional, les secteurs majoritaires dans les émissions de BC sont le résidentiel (48%) puis les transports routiers (31%) et l'agriculture (11%). A la **métropole et à la commune**, le secteur des **transports routiers** est le **premier secteur émetteur** (respectivement 48% et 53%). Le caractère urbain de la métropole (trafic routier important, logements collectifs...) explique la plus faible contribution du résidentiel (34%) et de l'agriculture (4%).



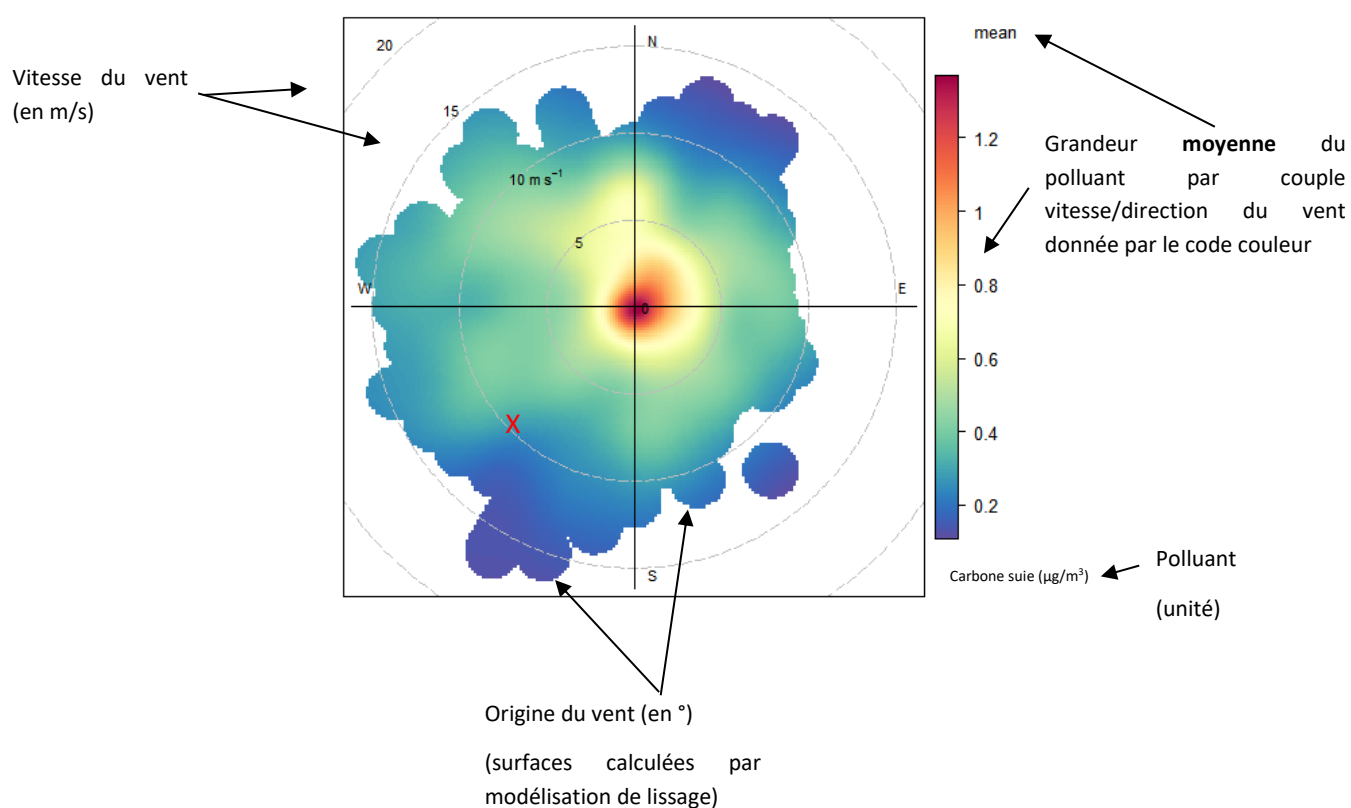
Emissions de BC en 2020 (Source : ISEA v5 Air Breizh)

Selon l'échelle géographique, la répartition sectorielle des émissions de carbone suie varie. A Rennes (niveau communal), ce sont les transports routiers qui sont la 1^{ère} source d'émissions avant le résidentiel (contrairement à l'échelle régionale).

¹³ <https://isea.airbreizh.asso.fr/index.php>

ANNEXE 3 : 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cf. échelle de couleur) pour des vents de Sud-Ouest à une vitesse d'environ 8 – 9 m/s.