



**AtmoSud**  
*Qualité de l'Air*

Provence - Alpes - Côte d'Azur

# **Black Carbon**

**Bilan des mesures de l'année 2018**

## RESUME :

### BLACK CARBON

### BILAN DES MESURES DE L'ANNEE 2018

Depuis 2014, AtmoSud mène plusieurs actions pour la surveillance et la connaissance des particules fines et leur composition chimique. C'est dans ce cadre qu'AtmoSud s'est notamment doté de plusieurs analyseurs de Black Carbon (BC) ou Aethalomètres.

En effet, au-delà des attentes réglementaires, l'utilisation des aethalomètres par AtmoSud permet de caractériser la nature chimique des particules et d'obtenir ainsi une information sur les sources potentielles de la pollution particulaire.

Le BC provient des phénomènes de combustion. Les aethalomètres permettent de « séparer » le BC provenant la combustion de carburant fossile (BC<sub>FF</sub>) de celui produit par la combustion de biomasse (BC<sub>WB</sub>). Il est ensuite possible de quantifier la contribution de chacune de ces deux sources (PM<sub>WB</sub> et PM<sub>FF</sub>) à la concentration mesurée en PM<sub>10</sub>.

Ce bilan présente les résultats des mesures du Black Carbon, réalisées par AtmoSud au cours de l'année 2018 sur les sites d'Arson (Nice), Longchamp (Marseille) et Kaddouz (Marseille).

#### ► Moyennes annuelles constantes

Les concentrations moyennes annuelles en BC, BC<sub>WB</sub> et BC<sub>FF</sub> sont stables sur les trois sites depuis 2016. Les sites Arson à Nice et Longchamp à Marseille présentent des concentrations équivalentes. Pour le site de Kaddouz à Marseille, les concentrations sont plus marquées particulièrement pour le BC<sub>FF</sub>, probablement du fait la proximité de la rocade L2.

#### ► Influence saisonnière pour la combustion de biomasse (BC<sub>WB</sub> et PM<sub>WB</sub>)

Les PM<sub>WB</sub> contribuent à environ 20 % de la concentration des PM<sub>10</sub> sur les trois sites pendant l'hiver et à moins de 10 % pendant l'été.

L'étude des profils journaliers en BC<sub>WB</sub> hivernaux montrent une augmentation de la concentration le soir. Cela correspond à la reprise du chauffage au bois résidentiel.

#### ► Les PM<sub>FF</sub> sont directement reliés au trafic routier

En moyenne, les PM<sub>FF</sub> représentent entre 16 et 19 % des PM<sub>10</sub> sur les sites de fond urbains (Arson à Nice et Longchamp à Marseille) et 23 % sur le site de proximité trafic de Kaddouz à Marseille.

Les profils journaliers montrent deux pics les jours de semaine sur les sites urbains de fond, correspondant aux heures de pointe du trafic routier. Sur le site de proximité trafic de Kaddouz à Marseille, la fréquentation de la rocade L2 tout au long de la journée entraîne une concentration de PM<sub>FF</sub> relativement stable entre 06h00 et 18h00, bien que les pointes correspondant aux trajets domicile-travail restent visibles.

#### ► Détermination des sources de pollution

La mesure des PM<sub>10</sub> et l'estimation des PM<sub>WB</sub> et PM<sub>FF</sub> permet de déterminer si une augmentation du niveau de particules fines est due à la combustion de biomasse, au trafic, ou à un épisode de poussière crustales, voire mixte.

Plusieurs exemples d'épisodes de pollution par les PM sont examinés, pour l'exemple à la fin du présent bilan.

Autrice de l'étude : Lise BONVALOT

Revue : BouAlem MESBAH

Validation : Edwige REVELAT

Contact : BouAlem MESBAH

[boualem.mesbah@atmosud.org](mailto:boualem.mesbah@atmosud.org)

Date de parution

Novembre 2019

# SOMMAIRE

<b>1. Une surveillance au-delà des attentes réglementaires</b> .....	<b>5</b>
<b>2. La mesure du Black Carbon</b> .....	<b>6</b>
2.1 Propriétés du Black Carbon .....	6
2.2 Principe de la mesure .....	7
<b>3. La surveillance des particules dans la région Provence-Alpes-Côte d’Azur</b> .....	<b>8</b>
3.1 Présentation des points de mesure .....	8
<b>4. Le suivi des concentration du BC en 2018</b> .....	<b>9</b>
4.1 La météorologie locale .....	9
4.1.1 Vitesse et directions des vents .....	9
4.1.2 Pluviométrie et température .....	11
4.2 Taux de fonctionnement des appareils en 2018 .....	12
4.3 Résultats moyens .....	13
4.4 Comportement journalier des concentrations en BC en 2018 .....	15
4.5 Roses de pollution en Black Carbon en 2018 .....	19
4.6 Corrélations entre les concentrations en BC <sub>ff</sub> et en oxydes d’azote .....	21
4.7 Estimation de la contribution « biomasse (wb) » et « carburant fossile (ff) » dans la concentration en particules PM <sub>10</sub> .....	22
4.7.1 Méthodologie utilisée .....	22
4.7.2 Résultats des estimations.....	23
<b>5. Analyse de journées particulières</b> .....	<b>28</b>
5.1 Nice, 25 janvier 2018 .....	28
5.2 Marseille, 16 février 2018.....	29
5.3 Marseille, 23 et 24 février 2018 .....	30
5.4 Marseille, 1 <sup>er</sup> octobre 2018 .....	32
5.5 Marseille, 13 mai 2018 .....	33
<b>6. Conclusion</b> .....	<b>34</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>35</b>
<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>38</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>41</b>

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	Définition statistique d'une « boîte à moustache »	42
ANNEXE 2	Guide de lecture des roses des vents et roses des pollutions	43
ANNEXE 3	Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS	45

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Détail des stations de mesure AtmoSud	9
Tableau 2: Taux de fonctionnement des aethalomètres AE33 pour les trois sites pour l'année 2018	12
Tableau 3 : Moyennes annuelles et maximums journaliers sur les trois sites	13
Tableau 4 : Moyennes annuelles et maxima journaliers pour chaque site de mesure	23

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Émissions d'aérosols carbonés des différents types de combustions (source : AtmoSud)	6
Figure 2: Localisations des sites de mesure AtmoSud du Black Carbon	8
Figure 3 : Roses des vents en 2018 et sur des périodes plus longues	10
Figure 4 : Variations pluviométriques et de températures à Nice, valeurs normales (1981-2010) et relevées 2018. Données Météo France.	11
Figure 5 : Variations pluviométriques et de températures à Marignane, valeurs normales (1981-2010, à gauche) et relevées 2018, à droite. Données Météo France.	11
Figure 6: Composition du Black Carbon en moyenne annuelle en 2018 sur les sites de surveillance	13
Figure 7: Évolution des concentrations moyennes annuelles en BC, BC <sub>FF</sub> et BC <sub>WB</sub> depuis 2016	14
Figure 8 : Évolution temporelle des concentrations en moyenne journalière de BC <sub>WB</sub> et BC <sub>FF</sub>	15
Figure 9: Représentation mensuelle de type boxplot des moyennes journalières en 2018 en BC, BC <sub>WB</sub> et BC <sub>FF</sub>	16
Figure 10 : Profils journaliers moyens des concentrations en BC <sub>Wood Burning</sub> et BC <sub>Fossil Fuel</sub> pour les jours de semaine et les weekends et selon les saisons.	18
Figure 11 : Roses de pollution saisonnières de BC <sub>FF</sub> et BC <sub>WB</sub> pour les trois sites étudiés en 2018	20
Figure 12 : Variation de la concentration en BC <sub>ff</sub> en fonction de la concentration en NO <sub>x</sub>	21
Figure 13: Composition et contribution dans les PM <sub>10</sub> en moyenne annuelle en 2018 sur les sites de surveillance	24
Figure 14 : Evolution des contribution moyenne annuelle des PM <sub>wb</sub> et PM <sub>ff</sub> aux PM <sub>10</sub> de 2016 à 2019	25
Figure 15 : Évolution temporelle des concentrations en moyenne journalière de PM <sub>10</sub> et des fractions issues de la combustion de bois (PM <sub>WB</sub> ) et de la combustion de fuel fossile (PM <sub>FF</sub> )	25
Figure 16: Moyennes mensuelles des concentrations en PM <sub>10</sub> et des fractions issues de la combustion de bois et de la combustion de fuel fossile	26
Figure 17 : Évolution de la composition des PM <sub>10</sub> le 25 janvier 2018 et la rose des vents	28
Figure 18 : Détail de la composition des PM <sub>10</sub> le 16 février 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes	29
Figure 19 : Détail de la composition des PM <sub>10</sub> le 23 février 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes	30
Figure 20 : Détail de la composition des PM <sub>10</sub> le 24 février 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes	31
Figure 21 : Détail de la composition des PM <sub>10</sub> le 1 <sup>er</sup> octobre 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes	32
Figure 22 : Détail de la composition des PM <sub>10</sub> et pluviométrie le 13 mai 2018 à Kaddouz et la rose des vents correspondantes	33

## LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : Aethalomètre (source : Magee Scientific)	7
---	---

# 1. Une surveillance au-delà des attentes réglementaires

Depuis plusieurs années, l'intérêt pour la surveillance et la connaissance des particules de très petites tailles et leur composition chimique est croissant. Au-delà des attentes réglementaires, c'est cet intérêt qui a poussé AtmoSud à mettre en place un plan de surveillance spécifique pour les particules fines. Parmi les actions de ce plan, AtmoSud s'est doté de plusieurs analyseurs de carbone suie ou Black Carbon (BC).

Les mesures du BC permettent une première caractérisation chimique des particules, et donc une information sur les sources potentielles de la pollution particulaire.

Ce document fait le bilan des mesures de Black Carbon réalisées par AtmoSud au cours de l'année 2018.

## 2. La mesure du Black Carbon

### 2.1 Propriétés du Black Carbon

La combustion de la matière carbonée (gaz, pétrole, charbon et biomasse) émet de nombreux polluants atmosphériques gazeux et particulaires, dont les particules ou « aérosols carbonés ».

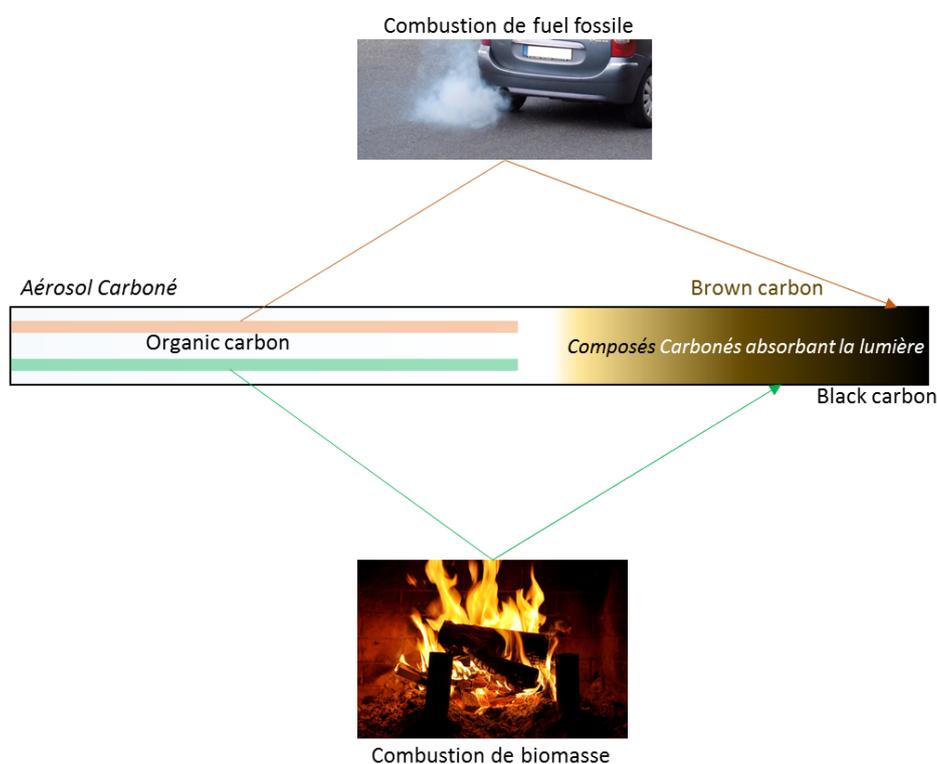
Le carbone suie, appelé « Black Carbon » (BC), fait partie de cette catégorie de particules. Composé en majeure partie de carbone, sa couleur noire à foncée absorbe le rayonnement lumineux (Figure 1). Le BC est un traceur primaire exclusif de la combustion incomplète de combustibles d'origine fossile et bio-massique. Ses principales sources sont les moteurs à combustion (diesel et autres carburants fossiles), la combustion résidentielle de bois et charbon, le brûlage des déchets végétaux ou agricoles et les incendies de forêt.

Le BC est contenu dans les particules fines  $PM_{2,5}$  mais il se retrouve principalement dans la plus petite partie de celles-ci : les  $PM_{1}$ .

Le BC est inerte dans l'atmosphère et peut parcourir de très longues distances, pouvant atteindre jusqu'aux régions polaires (Bodhaine 1995; Hansen et al. 1989; Sciare et al. 2009; Zhou et al. 2012).

Le BC est classé dans le groupe 2B (agents peut-être cancérogènes pour l'homme) par le CIRC. En 2012, le rapport « Health effects of black carbon » de l'OMS confirme que l'exposition à des niveaux importants de BC provoque des effets sur la santé (cardiovasculaires et cardiopulmonaires) (OMS 2012). Les effets sont relevés pour des expositions à long terme comme à court terme.

Les effets délétères du BC sur la santé humaine ont été une nouvelle fois confirmée dans l'avis de l'ANSES de juillet 2019 (ANSES 2019).



**Figure 1: Émissions d'aérosols carbonés des différents types de combustions (source : AtmoSud)**

## 2.2 Principe de la mesure

L'AE33 est un instrument qui mesure la concentration de BC (Black Carbon) en effectuant une mesure de la lumière absorbée par les particules prélevées en continu sur une bande filtrante.

Un coefficient d'absorption de la lumière par les particules est déterminé en faisant la différence entre des mesures de la transmission lumineuse de la bande filtrante vierge et celle de la bande filtrante avec des particules. Cette analyse est faite à sept longueurs d'ondes réparties entre 370 et 950 nm.

L'AE33 calcule les concentrations de BC avec une haute résolution temporelle en analysant l'atténuation de la transmission lumineuse au cours du temps. La concentration de BC est extraite de la mesure du coefficient d'absorption à 880 nm. Les autres longueurs d'onde peuvent notamment être utilisées pour estimer les contributions de différentes sources de combustion.

En effet, les aérosols provenant majoritairement de la combustion de biomasse, aussi appelés « Brown Carbon », sont constitués de certaines molécules organiques absorbant les longueurs d'onde proches de l'ultraviolet (400 nm) (Kocbach et al. 2006; Sun, Biedermann, et Bond 2007), tandis que les aérosols provenant de combustions fossiles, purement graphitiques, absorbent dans le proche infrarouge (850 - 900 nm) (Kirchstetter, Novakov, et Hobbs 2004).

L'aethalomètre, modèle AE33 produit par Magee Scientific (Photographie 1) permet de « déconvoluer », c'est-à-dire de distinguer deux sources de BC par mesure optique. Cette distinction est possible grâce à l'utilisation des caractéristiques d'absorption optique des particules issues de ces deux sources de combustion, toutes deux émettrices de BC (Favez et al. 2010; Herich, Hueglin, et Buchmann 2011; Jisca Sandradewi et al. 2008; J. Sandradewi et al. 2008) :

- la combustion de la biomasse (wb),
- la combustion de fuel fossile (ff).



**Photographie 1 : Aethalomètre (source : Magee Scientific)**

La concentration totale en BC est donnée par l'expression suivante

$$BC = BC_{FF} + BC_{WB}$$

où BC est la concentration en Black Carbon total (mesurée à 880 nm),  $BC_{FF}$  est la concentration en BC issu de la combustion de fuel fossile (essentiellement issu du trafic routier) et  $BC_{WB}$  est la concentration en BC issu de la combustion de la biomasse (chauffage au bois, brûlage de déchets verts et feux de forêt).

### 3. La surveillance des particules dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

La mesure du BC permet d'apporter une connaissance supplémentaire en quasi-temps réel de la pollution particulaire mesurée dans région Provence-Alpes-Côte d'Azur. La mesure du BC sur des sites de fond urbain permet de quantifier la part du chauffage résidentiel et celle du trafic routier au sein des villes. À proximité d'une voie routière, la quantification du BC permet un suivi fin de l'impact du trafic.

Dans le rapport de juin 2018 « *Polluants « émergents » dans l'air ambiant. Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance de la qualité de l'air.* », l'ANSES estime qu'il est nécessaire de compléter et de pérenniser l'acquisition de données de mesures du BC dans l'air ambiant compte tenu de leurs enjeux potentiels en termes d'impact sanitaire (ANSES 2018).

En 2018, AtmoSud a assuré la surveillance permanente de ce polluant sur trois sites : un site à Nice et deux à Marseille. Le BC a également été mesuré de façon ponctuelle, dans le cadre de campagne de mesure sur plusieurs autres sites : dans la ville de Marignane, proche de l'aéroport et sites d'observation autour de la rocade L2 à Marseille. Ce bilan détaille les mesures réalisées sur les trois sites permanents.

La surveillance du BC est accompagnée de mesure des particules fines ( $PM_{10}$  et/ou  $PM_{2,5}$ ) et de polluants gazeux, tels que les oxydes d'azote ( $NO_x$ ). Ces différentes mesures permettent de caractériser les épisodes de pollutions aux particules fines. Leur origine peut alors être attribuée au trafic, au chauffage résidentiel, à un épisode de poussière crustale ou encore à une origine mixte ou multiple.

#### 3.1 Présentation des points de mesure

Au niveau national, l'intérêt majeur dans la mise en œuvre de mesures de BC réside dans le suivi sur le long-terme d'indicateurs d'impact sur la santé et l'environnement. C'est également un moyen de suivi des plans d'actions et des mesures de réduction de la pollution, orientés vers les sources «trafic» ou «biomasse». Un autre intérêt réside dans la compréhension en temps quasi-réel des origines des particules issues des processus de combustions lors des épisodes de pollution.

Dans ce contexte, la priorité d'installation des AE33 est donnée à des sites urbains de fond. Néanmoins, l'implantation complémentaire d'AE33 sur un ou plusieurs sites de proximité automobile reste intéressante, en particulier dans le cadre de l'évaluation spécifique des émissions d'un axe routier particulier.

Ainsi AtmoSud a instrumenté :

- deux sites urbains : Arson à Nice et Longchamp à Marseille. Ces deux sites assurent le suivi du BC depuis 2014
- un site d'observation spécifique lié au trafic : Kaddouz à Marseille. Ce site est équipé d'un aethalomètre depuis 2017. Il est dédié à la surveillance de la qualité de l'air aux abords de la rocade L2, à Marseille.



Figure 2: Localisations des sites de mesure AtmoSud du Black Carbon

Un descriptif de ces trois stations de mesure est donné en Tableau 1.

**Tableau 1: Détail des stations de mesure AtmoSud**

Station	Type	Coordonnées	Polluants mesurés
Nice - Arson	Fond urbain Située dans une zone urbaine dense	latitude : 43°42'07.48" longitude : 7°17'10.49" altitude : 11 m	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>1</sub> , BC, BTEX, HAP <sup>1</sup> , PUF <sup>2</sup> , Métaux
Marseille - Longchamp	Fond urbain Située au bord du parc Longchamp, en retrait des voies de circulation, elle n'est pas sous influence directe d'une source en particulier	latitude : 43°18'19.04" longitude: 5°23'40.94" altitude : 73 m	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>1</sub> , BC, BTEX, HAP, PUF, Métaux
Marseille - Kaddouz	Observation spécifique <sup>3</sup> Placée à proximité du boulevard Kaddouz, au niveau de la tête de tunnel Montolivet Sud de la rocade L2	latitude : 43°18'31.00" longitude: 5°25'31.00" altitude : 76 m	NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC

## 4. Le suivi des concentrations du BC en 2018

### 4.1 La météorologie locale

#### 4.1.1 Vitesse et directions des vents

Le vent intervient dans les phénomènes de pollution atmosphérique, tant par sa direction pour orienter les panaches de polluants que par sa vitesse pour les déplacer.

Plus la vitesse du vent est faible et plus les polluants risquent de s'accumuler. Cependant un vent fort et de direction bien établie peut diriger un panache vers une zone spécifique, et ainsi, y concentrer la pollution. C'est le cas, parfois, des panaches industriels. La vitesse du vent augmente généralement avec l'altitude, ainsi plus les polluants s'élèvent et plus leur dispersion est facilitée.

Pour l'année 2018, l'information anémométrique provient de stations météorologiques différentes selon l'implantation des sites :

- Pour le site de Nice-Arson, les données météorologiques proviennent de la station Météo France située au niveau de l'aéroport de Nice.
- Les résultats de Marseille-Longchamp sont couplés avec les informations météorologiques de la station météorologique AtmoSud également située à Longchamp. Cette station permet de connaître les vents à un niveau local mais ne permet d'avoir une information synoptique du vent pour l'ensemble de Marseille.
- Pour le site de Marseille-Kaddouz, situé à l'Est de Marseille (12<sup>ème</sup> arrondissement), les données de la station Météo France « les Vaudrans », située dans le 11<sup>ème</sup> arrondissement de Marseille sont utilisées. Cette station est influencée par la vallée de l'Huveaune.

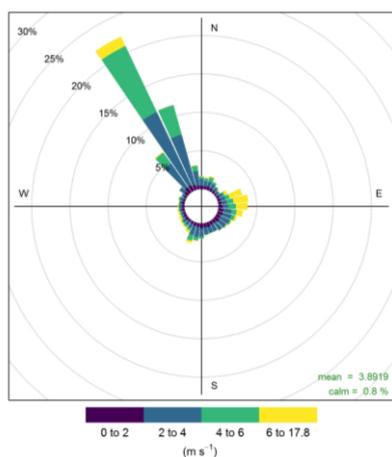
Les roses des vents pour chaque site sont présentées en Figure 3. Un guide de lecture des roses de vents est disponible en ANNEXE 2.

<sup>1</sup> HAP : Hydrocarbure aromatique Polycyclique

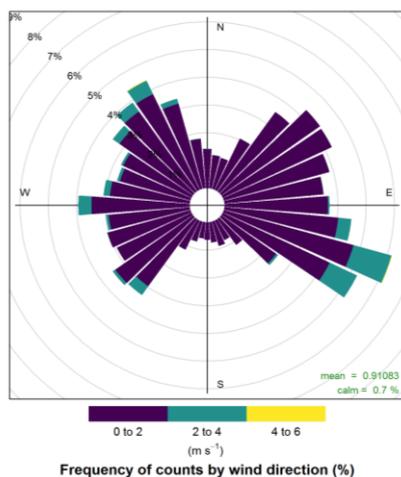
<sup>2</sup> PUF : Particules Ultra Fines

<sup>3</sup> Cette station ne répond pas aux critères d'implantations d'une station trafic à proprement parler, mais est trop proche d'un axe routier majeur pour être qualifiée de stations de fond (LCSQA : Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air, février 2017)

Rose des vents sur le site Nice-Aéroport en 2018 (source : Météo-France – données horaires)



Rose des vents sur le site de Marseille-Longchamp en 2018 (source AtmoSud – données quart-horaires)



Rose des vents sur le site Marseille-Les Vaudrans en 2018 (source : Météo-France – données horaires) pour le site de Marseille-Kaddouz

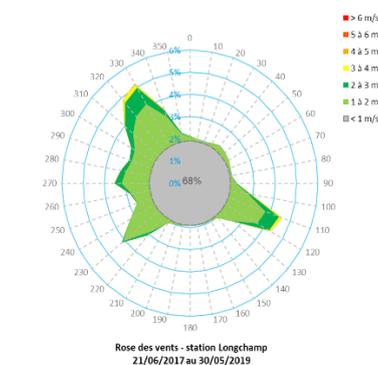
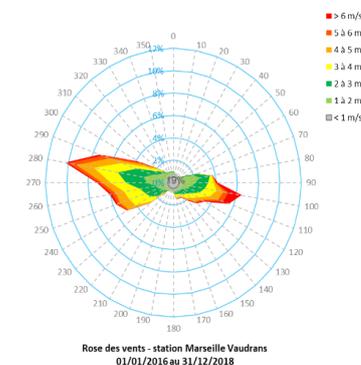
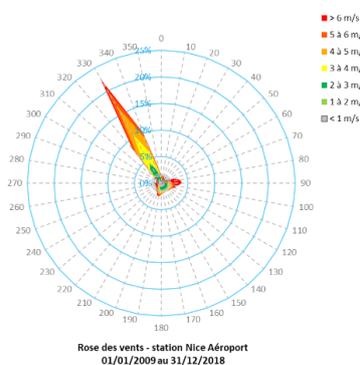
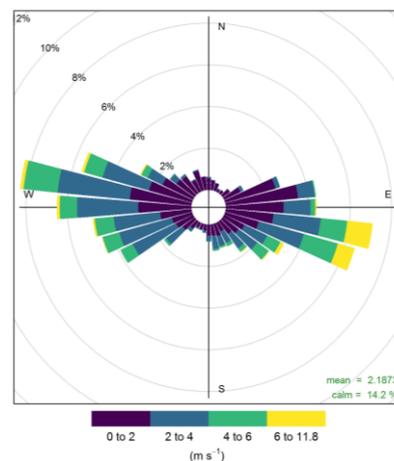


Figure 3 : Roses des vents en 2018 et sur des périodes plus longues

En 2018, les vents relevés à Nice-Aéroport ont été faibles (entre 0 et 2 m/s) pendant 16 % du temps. Le vent provient essentiellement du Nord-Ouest (environ 40 % du temps). La situation est représentative de la rose des vents décennale sur la période 2009-2018.

Pour Marseille-Kaddouz, les vents considérés sur le site Météo-France des Vaudrans ont été faibles (entre 0 et 2 m/s) pendant 40% du temps. L'axe majoritaire de direction du vent est Ouest / Est. La situation est représentative de la rose des vents observée sur les 3 dernières années (2016, 2017, 2018).

La station de Marseille-Longchamp indique que 93 % du temps les vents ont eu des vitesses comprises entre 0 et 2 m/s. Pour Longchamp, la direction du vent est peu marquée, avec une légère prédominance du secteur Nord-Ouest (Mistral) et Sud-Est.

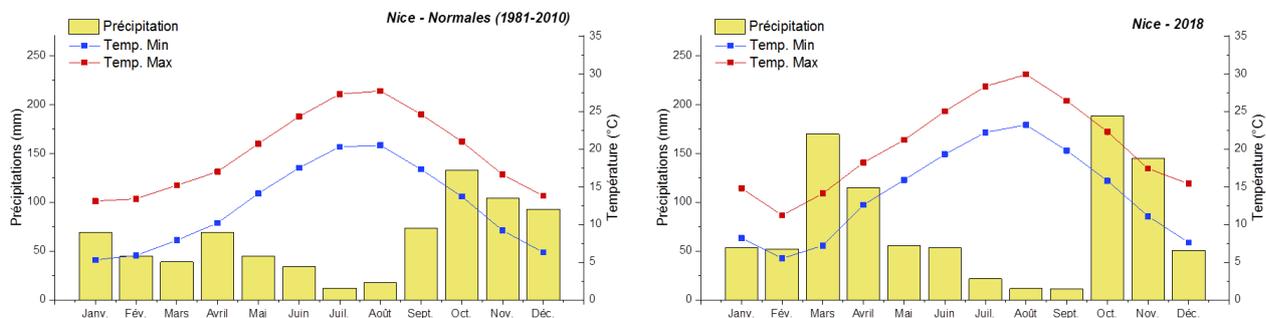
La comparaison avec des roses de vents établies sur des périodes plus longues, montre que l'année 2018 ne présente pas de particularités significatives.

Les profils anémométriques varient selon les sites.

Le vent majoritairement d'origine Nord-Ouest à Nice-Aéroport, tandis que le vent relevé sur les sites marseillais présente une origine plus globale, avec une forte représentation de l'axe Ouest/Est pour Marseille-Kaddouz et des vents majoritairement très faibles à Marseille Longchamp.

## 4.1.2 Pluviométrie et température

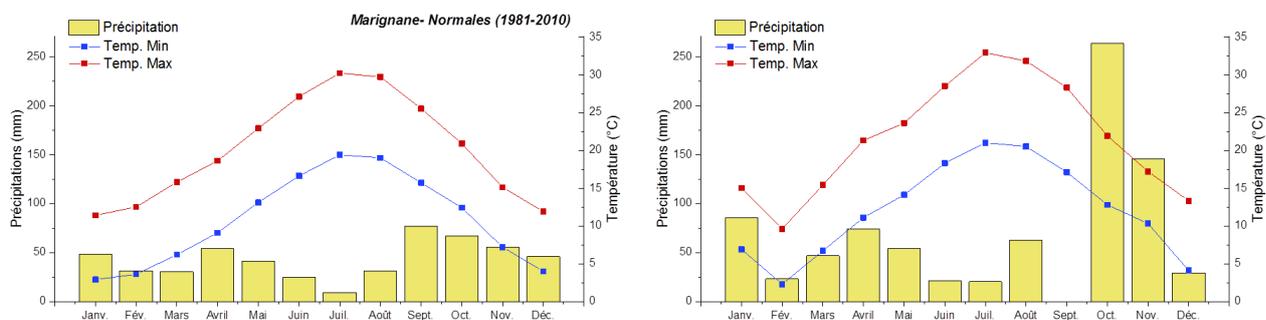
Les valeurs de températures mensuelles (maximales et minimales) ainsi que pluviométriques relevées en 2018 par Météo France sont comparées aux valeurs normales (moyennes mensuelles sur les années de 1981 à 2010). Pour Nice – Arson, les valeurs Météo France de Nice sont utilisées. Pour Marseille – Longchamp et Marseille – Kaddouz, les valeurs Météo France de Marignane sont considérées.



**Figure 4 : Variations pluviométriques et de températures à Nice, valeurs normales (1981-2010) et relevées 2018. Données Météo France.**

Les données « normales » et de 2018 de Nice sont représentées en Figure 4. Les températures minimales et maximales relevées en 2018 sont plus élevées de 1,5 °C environ par rapport aux normales. Seuls les mois de février et mars présentent des températures plus basses que les normales.

Les précipitations relevées en 2018 présentent de fortes variations par rapport aux normales mensuelles. Les mois de septembre et décembre sont particulièrement secs (62 mm de pluie en moins pour septembre et 42 mm pour décembre). A l’inverse, des précipitations importantes sont relevées en mars (+ 131 mm de pluie), en avril (+ 45 mm de pluie), en octobre (+ 55 mm de pluie) et novembre (+41 mm de pluie). Cependant, la somme des précipitations sur l’année reste proche de la normale (+ 16 mm).



**Figure 5 : Variations pluviométriques et de températures à Marignane, valeurs normales (1981-2010, à gauche) et relevées 2018, à droite. Données Météo France.**

Les données normales et de 2018 de Marignane sont représentées en Figure 5. En moyenne, les températures relevées en 2018 sont supérieures aux normales d’environ 1,4 °C. Seul le mois de février 2018 est plus froid par rapport aux normales du même mois.

Les précipitations relevées en 2018 diffèrent des normales. On peut souligner un mois de septembre sans aucune précipitation (soit – 77 mm de pluie par rapport à la normale), alors qu’octobre et novembre sont particulièrement pluvieux (+ 196 mm et + 90 mm de pluie respectivement). Au total, 25 mm de précipitation ont été relevés en plus durant l’année 2018 par rapport aux normales.

L'année 2018 a été une année légèrement plus chaude que les normales, tant à Nice qu'à Marseille. Seul le mois de février présente des températures inférieures aux normales.

Les précipitations relevées en 2018 s'éloignent des normales attendues, avec peu de précipitation en septembre une forte augmentation pour octobre et novembre.

L'année 2018 présente des particularités au niveau des précipitations, mais reste assez classique au niveau des températures.

Une augmentation du BC<sub>wB</sub> peut être anticipée en février, ce mois ayant été le plus froid.

## 4.2 Taux de fonctionnement des appareils en 2018

Les Directives 2008/50/CE (Annexe I.A) et 2004/107/CE (Annexe IV.I) précisent que le contrôle du respect des objectifs de qualité doit exclure les manques de données dus à l'étalonnage régulier et à l'entretien normal des instruments de mesure. Dans le document «*Guidance on the Annexes to Decision 97/101/CE on Exchange of Information as revised by Decision 2001/752/CE*» et selon les experts du réseau EIONET<sup>4</sup>, le chiffre de 5% est considéré comme une bonne approximation de la part de temps consacrée aux opérations régulières d'étalonnage et de maintenance. Ainsi, pour l'ensemble des mesures fixes (automatiques et manuelles), le taux de saisie minimal est ramené de 90% à 85%, à l'exception des mesures d'ozone en hiver, pour lesquelles ce taux est ramené de 75% à 70% (LCSQA 2016).

Dans le cadre de la surveillance du Black Carbon en 2018, le taux de fonctionnement annuel est supérieur au taux de fonctionnement de référence de 85 % sur les trois sites (90 % à Nice-Arson, 98 % à Marseille-Longchamp et 96 % à Marseille-Kaddouz).

Les taux de fonctionnement par mois sont détaillés en Tableau 2.

Les taux de fonctionnement mensuels sont très satisfaisants. Seul le site de Nice-Arson présente un taux de fonctionnement faible (8 %) en août : l'aethalomètre a dû être envoyé chez le fournisseur pour une maintenance curative, suite à un problème de débit.

**Tableau 2: Taux de fonctionnement des aethalomètres AE33 pour les trois sites pour l'année 2018**

Taux de fonctionnement en % du temps	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
Nice-Arson	100	96	99	100	100	87	87	8	100	100	98	95	90 %
Marseille-Longchamp	99	99	98	100	100	100	100	89	99	99	89	98	98 %
Marseille-Kaddouz	99	89	100	90	96	100	96	99	93	97	100	90	96 %

Ces taux de fonctionnement élevés sur l'année permettent une bonne exploitation et une interprétation des données. Seule une vigilance est à porter aux données du mois d'août pour le site de Nice-Arson.

<sup>4</sup> European Environment Information and Observation Network

## 4.3 Résultats moyens

### ► En 2018

La moyenne annuelle, le maximum journalier et le maximum horaire pour le BC, BC<sub>FF</sub> et BC<sub>WB</sub>, observés dans les 3 sites de mesures sont regroupés dans le Tableau 3.

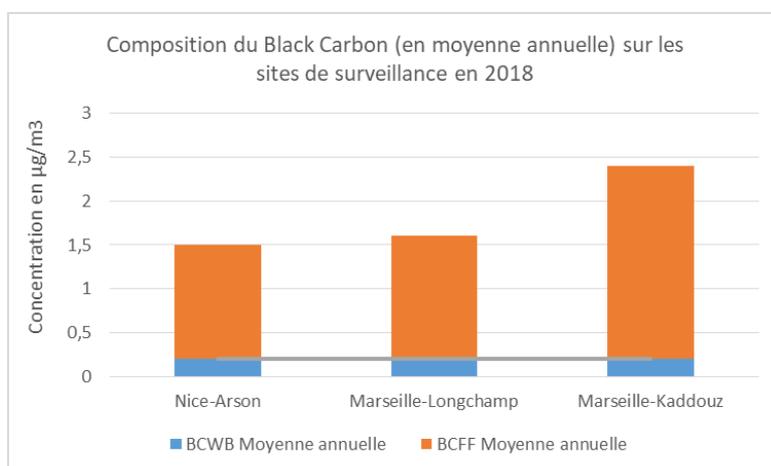
**Tableau 3 : Moyennes annuelles et maximums journaliers sur les trois sites**

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Nice-Arson	Marseille-Longchamp	Marseille-Kaddouz
BC	Moyenne annuelle	1,5	1,6	2,4
	Max. journalier	5,0 22/03/2018	5,5 29/12/2018	6,0 03/12/2018
BC <sub>FF</sub>	Moyenne annuelle	1,3	1,4	2,2
	Max. journalier	4,7 22/03/2018	4,1 16/02/2018	5,2 03/12/2018
BC <sub>WB</sub>	Moyenne annuelle	0,2	0,2	0,2
	Max. journalier	0,7 25/01/2018	1,1 15/12/2018	1,9 15/12/2018

En 2018, avec  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la concentration moyenne annuelle de BC sur le site de Marseille-Kaddouz est supérieure à celle des deux autres sites ( $1,5$  et  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Les concentrations en BC sur les sites de fond urbain de Nice-Arson et Marseille-Longchamp sont équivalentes à celui mesurés par Atmo Nouvelle-Aquitaine (Atmo Nouvelle-Aquitaine 2019) sur le site de même caractéristique de Poitiers ( $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , du 28 novembre 2018 au 3 avril 2019). AirParif rapporte des concentrations de BC entre  $1,5$  et  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2018 sur les stations de fond urbain de Gennevilliers et Paris 13<sup>ème</sup> (AirParif 2019). Le site Marseille-Kaddouz présente une concentration équivalente à celle relevée Boulevard Haussmann (station trafic,  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2018) mais reste bien inférieure aux moyennes annuelles relevées par AirParif sur les autres stations trafic, qui peuvent atteindre jusqu'à  $10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en bordure de l'autoroute A1.

L'analyse de la composition du BC montre une concentration BC<sub>WB</sub> équivalente sur les trois sites. Le BC<sub>WB</sub> représente 13 % du BC à Nice-Arson et Marseille-Longchamp et 8% à Marseille-Kaddouz. Pour comparaison, la contribution du BC<sub>WB</sub> au BC à Gennevilliers et Paris 13<sup>ème</sup> s'élève à 11% et 10 % respectivement.



**Figure 6: Composition du Black Carbon en moyenne annuelle en 2018 sur les sites de surveillance**

Sur le site de Marseille-Kaddouz, le niveau important de concentration en Black Carbon provenant de la combustion du fioul fossile BC<sub>ff</sub> est probablement due à la proximité directe de la rocade L2.

En effet rappelons que les sites Nice-Arson et Marseille-Longchamp sont des sites de fonds urbains. L'objectif dans ces sites est le suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dite de "fond" dans les centres urbains.

La station Marseille-Kaddouz est une station d'observation spécifique très proche du trafic dont l'objectif est de fournir des informations sur les concentrations mesurées en proximité de la tête de tunnel sur la L2.

Les moyennes annuelles en BC relevées à Nice-Arson et Marseille-Longchamp sont typiques des valeurs attendues pour des stations de fond urbain.

La concentration plus importante de BC et BC<sub>ff</sub> relevée à Marseille-Kaddouz est due à la proximité de la rocade L2.

Les moyennes annuelles en BC<sub>wb</sub> sont équivalentes sur les trois sites.

### ► Évolution temporelle depuis 2016

La surveillance du Black Carbon est opérationnelle sur les sites de Nice-Arson et Marseille-Longchamp depuis 2016.

Les concentrations annuelles en BC, BC<sub>ff</sub> et BC<sub>wb</sub> sur ces deux sites sont stables depuis 2016 :

- comprises entre 1,7 et 1,4 µg/m<sup>3</sup> à Nice-Arson
- comprises entre 1,6 et 1,7 µg/m<sup>3</sup> à Marseille-Longchamp.

L'analyse montre que les variations des parts BC<sub>wb</sub> et BC<sub>ff</sub> dans la concentration en BC total sont très faibles et peu significatives.

Rappelons que les deux sites ont été choisis pour leur caractéristique de sites urbains denses, dont l'objectif est le suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dite de "fond" dans les centres urbains.

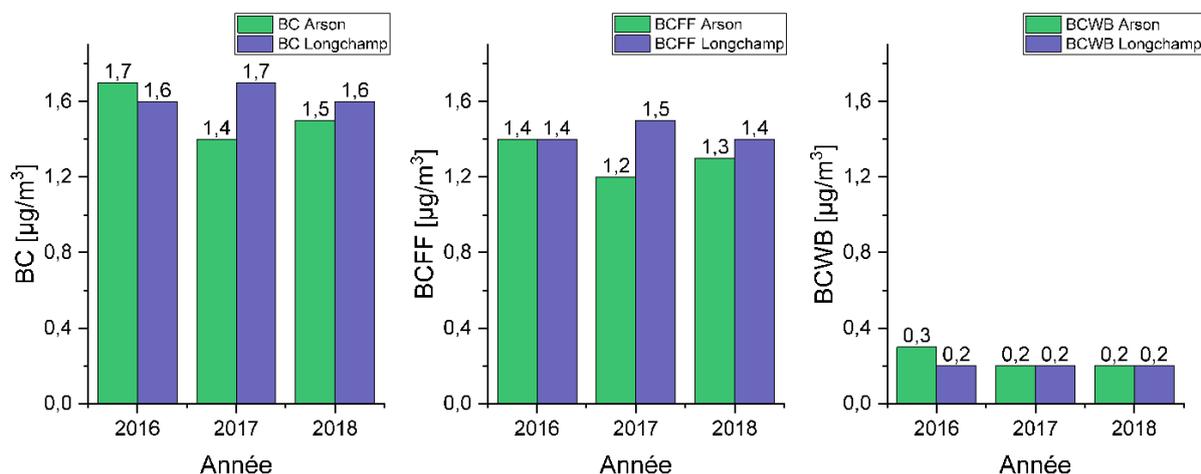


Figure 7: Évolution des concentrations moyennes annuelles en BC, BC<sub>ff</sub> et BC<sub>wb</sub> depuis 2016

Les concentrations en BC, BC<sub>ff</sub> et BC<sub>wb</sub> sont stables à Nice-Arson et Marseille-Longchamp depuis 2016.

## 4.4 Comportement journalier des concentrations en BC en 2018

### ► Évolution temporelle

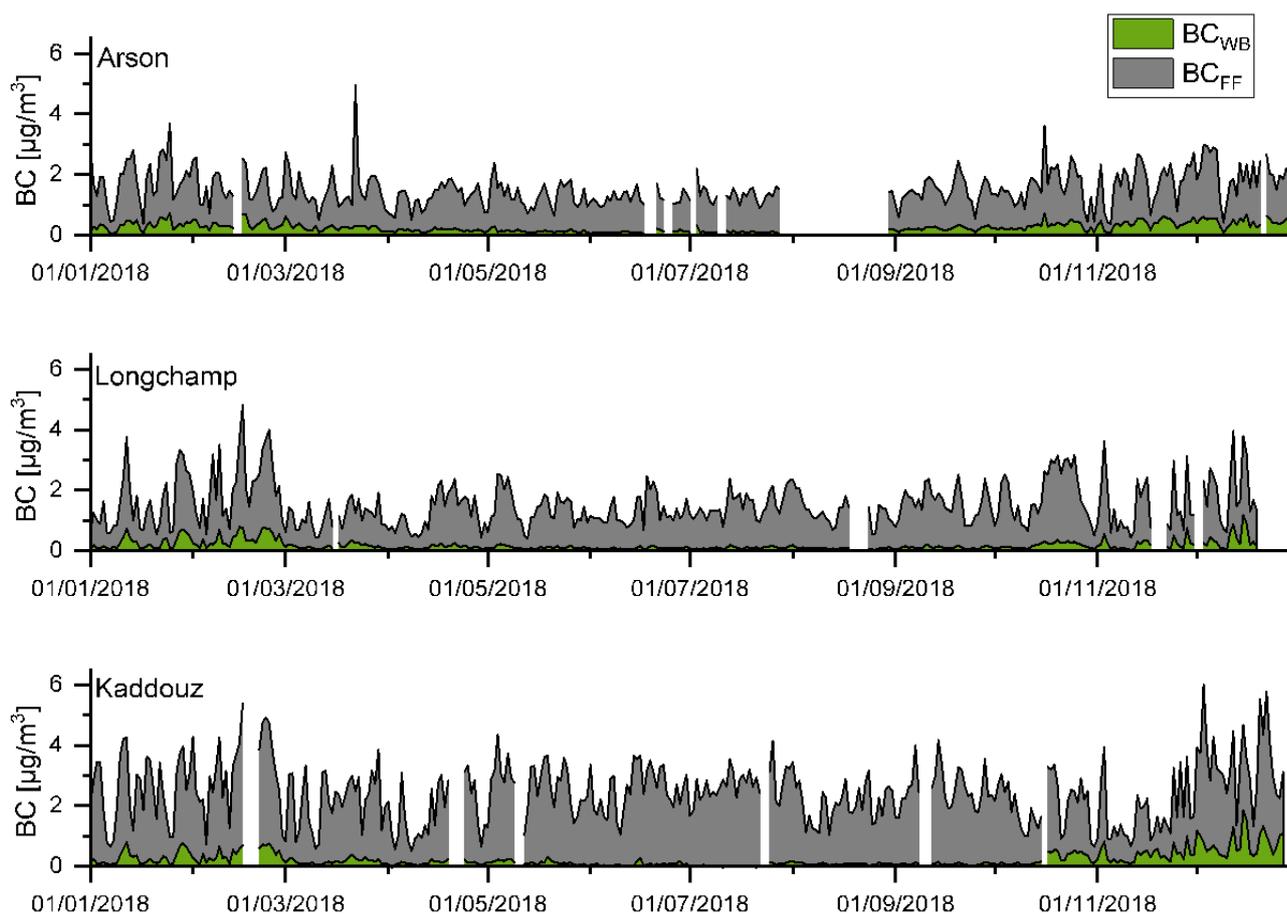
L'évolution temporelle des concentrations moyennes journalières en BC est représentée sur la Figure 8.

La Figure 9 permet de visualiser la répartition des moyennes journalières des concentrations pour chaque mois de l'année. Un guide de lecture des boîtes à moustache est détaillé en ANNEXE 1.

**En période hivernale**, une augmentation des concentrations en BC est visible sur les sites de Nice-Arson et de Marseille-Longchamp. Cette variation est notamment due à la fraction issue de la combustion de la biomasse, en lien avec le chauffage résidentiel en hiver.

La part issue de la combustion de fuel fossile présente peu de variations saisonnières. Toutefois, les conditions météorologiques défavorables à la dispersion des polluants (stabilité des masses d'air plus importante, inversion des températures) peuvent entraîner en période hivernale quelques concentrations élevées en  $BC_{ff}$ .

**Sur le site de Marseille-Kaddouz**, les concentrations en BC et en  $BC_{ff}$  restent stables au cours de l'année, sans tendance saisonnière importante. Rappelons que ce site a pour objectif une surveillance spécifique liée à la rocade L2. Cependant, une influence saisonnière est relevée sur le  $BC_{wb}$ , due au chauffage au bois résidentiel, avec une augmentation notable des concentrations  $BC_{wb}$  pendant la période hivernale, bien que les valeurs restent très inférieures à celles de  $BC_{ff}$ , influant peu la concentration en BC total.



**Figure 8 : Évolution temporelle des concentrations en moyenne journalière de  $BC_{wb}$  et  $BC_{ff}$**

Il est à noter que la baisse de température moyenne entre janvier et février est liée à une augmentation de la concentration en  $BC_{wb}$  en février par rapport à janvier (sites de Marseille), témoignant de l'impact du chauffage résidentiel (voir Figures 5 et 9).

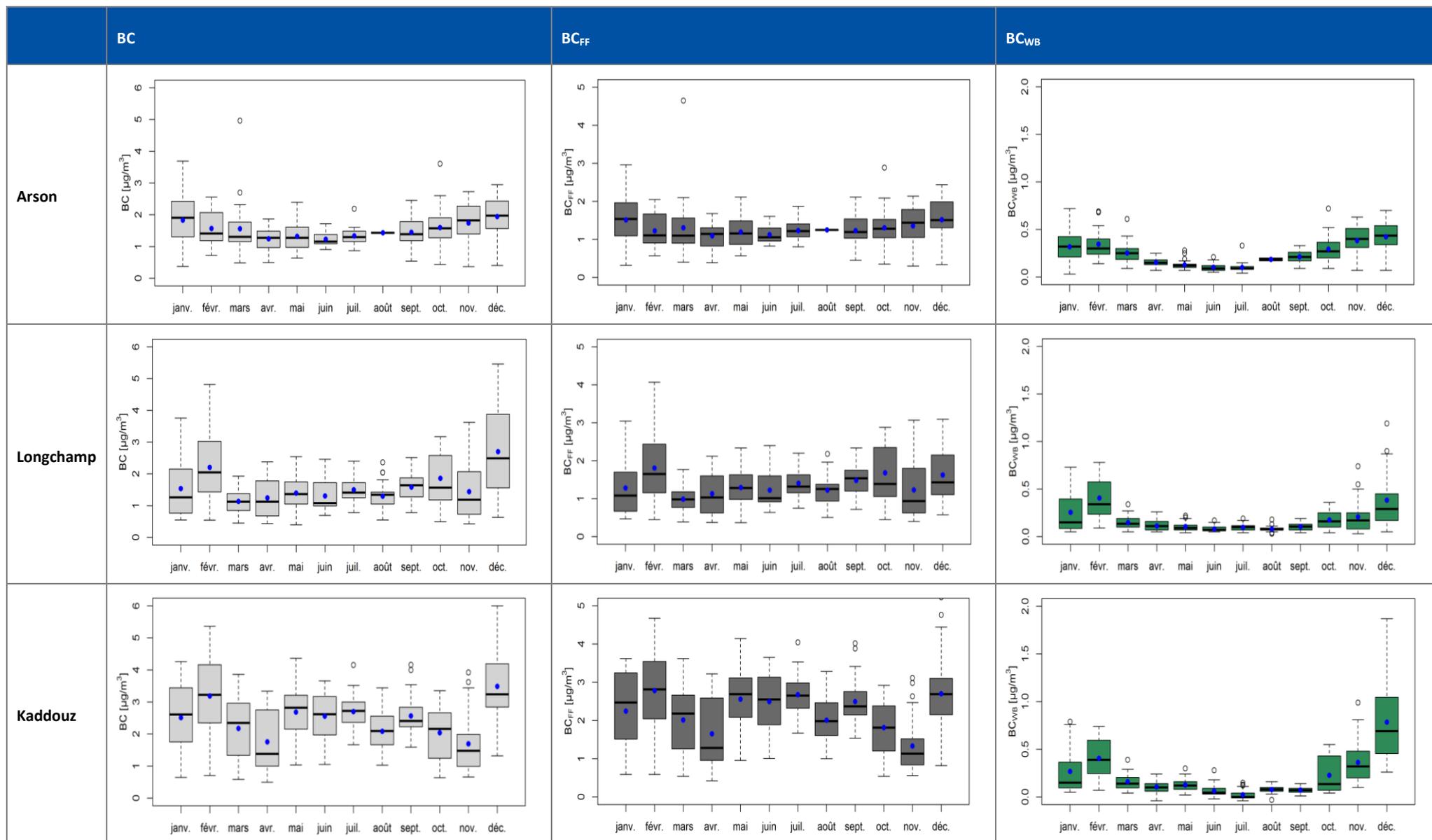


Figure 9: Représentation mensuelle de type boxplot des moyennes journalières en 2018 en BC, BC<sub>WB</sub> et BC<sub>FF</sub>

### ► Profils moyens des jours de semaine et des week-end selon les saisons en 2018

Les variations de concentrations en  $BC_{wb}$  et  $BC_{ff}$  durant une journée-type sont présentées en Figure 10. Les profils journaliers en  $BC_{wb}$  et  $BC_{ff}$  varient suivant les sites et également selon les jours de semaine et les weekends.

Deux pics de concentrations en  $BC_{ff}$ , correspondant à l'augmentation du trafic routier aux heures de pointes, sont retrouvés en toutes saisons sur les sites de Nice-Arson et Marseille-Longchamp. Ces pointes, importantes en semaine, sont logiquement plus faibles pendant le week-end, le trafic étant moins dense en centre urbain.

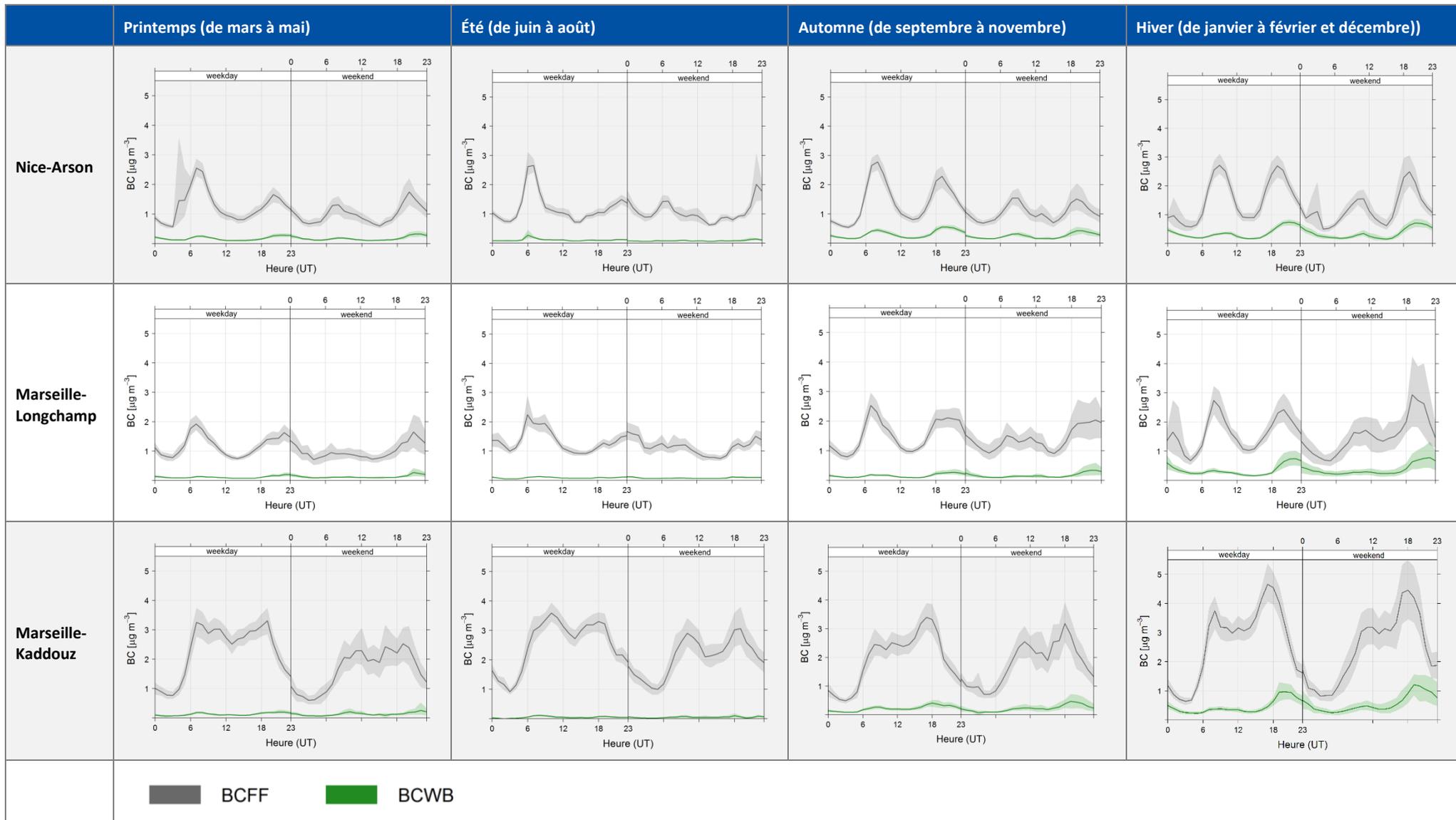
Sur le site de Marseille-Kaddouz, la concentration en  $BC_{ff}$  reste stable durant la journée (entre 06h00 et 19h00) illustrant une influence constante du trafic routier tout au long de la journée, quels que soient la saison et le jour de la semaine.

Le tracé journalier de la concentration en  $BC_{wb}$  montre un profil typique de chauffage résidentiel où les concentrations maximales se rencontrent la nuit, en périodes froides (automne et hiver). Ce même profil se retrouve sur les trois sites. Les concentrations légèrement plus importantes sur le site de Marseille-Kaddouz peuvent être liées à la proximité d'une zone résidentielle (maisons individuelles).

La concentration en  $BC_{ff}$ , à relier au trafic routier, reste stable au cours de l'année. Les profils journaliers dévoilent l'influence des pointes de trafic routier, correspondant aux trajets domicile-travail sur les sites de fond urbain.

À Marseille-Kaddouz, le  $BC_{ff}$  est plus stable sur la période 06h00-19h00, le trafic routier étant plus constant sur la rocade L2.

Le  $BC_{wb}$  présente une forte influence saisonnière, avec des concentrations presque nulles lors des saisons chaudes, ne nécessitant pas de chauffage résidentiel. Les profils journaliers des saisons froides montrent une augmentation du  $BC_{wb}$  le soir et durant la nuit.



**Figure 10 : Profils journaliers moyens des concentrations en BC<sub>Wood Burning</sub> et BC<sub>Fossil Fuel</sub> pour les jours de semaine et les weekends et selon les saisons.**

## 4.5 Roses de pollution en Black Carbon en 2018

La Figure 11 présente l'influence des conditions météorologiques (vitesses et directions de vents) sur les concentrations en  $BC_{wb}$  et  $BC_{ff}$ , en fonction des saisons. Un pas de temps horaire (Nice-Arson et Marseille-Kaddouz) et quart-horaire (Marseille-Longchamp) ont été étudiés afin de mettre en évidence un lien potentiel entre ces différents paramètres.

Un guide de lecture des roses de pollution est donné en ANNEXE 2.

### ► Nice-Arson

Les plus fortes concentrations de  $BC_{wb}$  sont observées en présence de vents moyens (environ 3 m/s) en hiver, avec une origine du quart Nord-Ouest. Cette origine est également retrouvée, de façon moins prononcée, en automne et au printemps. Elle peut être liée au chauffage résident dans le quartier de Cimiez. Une autre possibilité (pour le printemps et l'automne) est le brûlage des déchets verts dans les communes autour de Nice. En été, le  $BC_{wb}$  est négligeable.

Le  $BC_{ff}$  a une origine plus large, et se retrouve pour des vents faibles à forts (de 0 à 10 m/s), probablement en lien avec le trafic routier, voire maritime.

### ► Marseille-Longchamp

Le  $BC_{wb}$  ne présente pas de concentrations significatives en été et reste très faibles en automne.

Durant l'hiver, les concentrations les plus importantes de  $BC_{wb}$  sont relevées par vents de vitesses comprises entre 0 et 2 m/s, d'origine Nord-Nord-Est, correspondant à la vallée de l'Huveaune (brise de terre) ainsi qu'à une origine locale.

Les concentrations en  $BC_{ff}$  sont plus diffuses et sont observées par vents faibles à modérés (1 à 3 m/s) liées essentiellement au trafic routier dans la ville.

### ► Marseille-Kaddouz

Le  $BC_{wb}$  à Kaddouz est uniquement présent durant la période hivernale, pour des vitesses de vents faibles, voire nuls, témoignant d'une origine locale, probablement lié au caractère résidentiel du site.

Le  $BC_{ff}$  présente une origine Ouest durant toute l'année, particulièrement pour des vents faibles à modérés (1 à 4 m/s), ce qui correspond à la direction de la rocade L2.

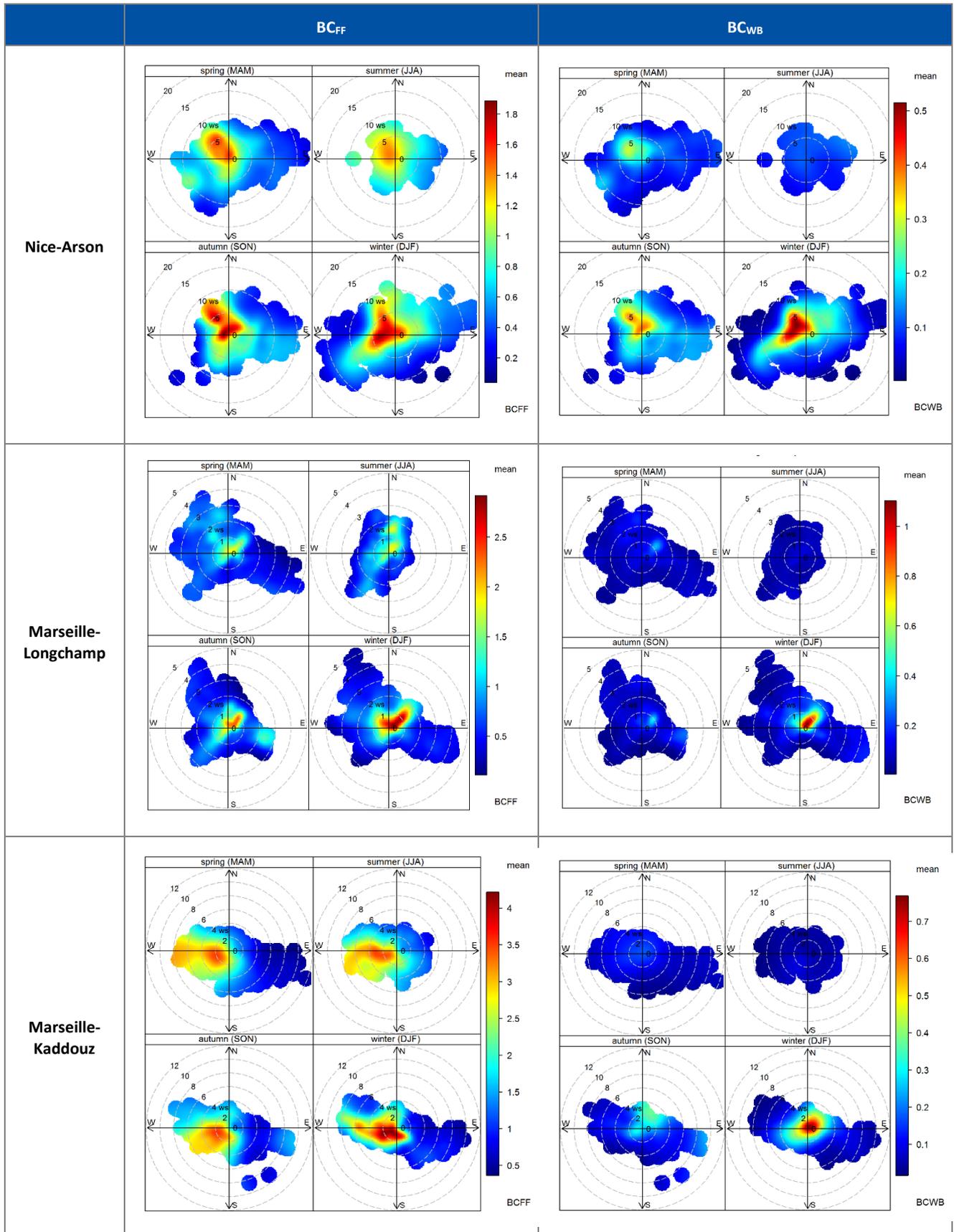
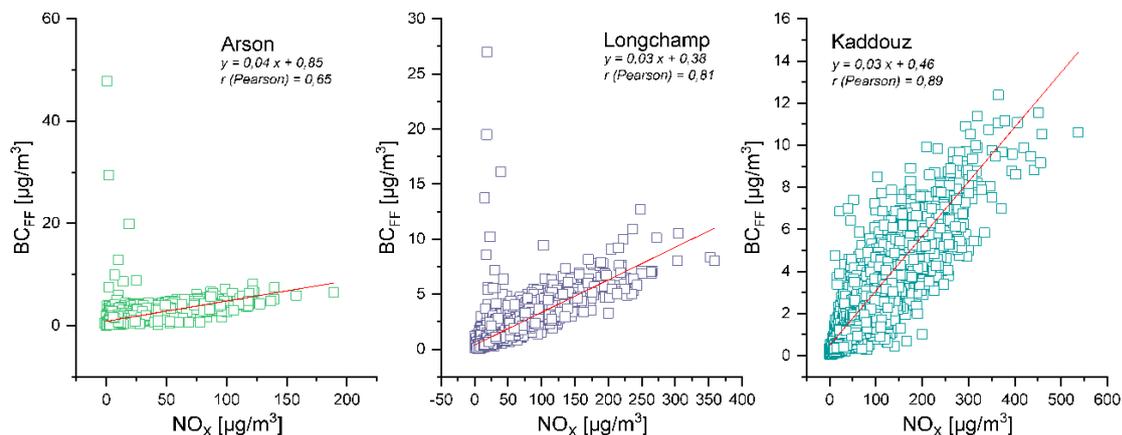


Figure 11 : Roses de pollution saisonnières de BC<sub>FF</sub> et BC<sub>WB</sub> pour les trois sites étudiés en 2018

## 4.6 Corrélations entre les concentrations en BC<sub>ff</sub> et en oxydes d'azote

Les stations de mesure AtmoSud permettent le suivi d'autres polluants, particuliers comme gazeux. Les oxydes d'azote font partie des composés gazeux suivis par AtmoSud sur pratiquement l'ensemble des points de mesure.

Les concentrations moyennes horaires en BC<sub>ff</sub> sont représentées en fonction des concentrations moyennes horaires en NO<sub>x</sub> pour toute l'année 2018 dans la Figure 12. Cela représente 7647<sup>5</sup> couples de données NO<sub>x</sub>-BC<sub>ff</sub> pour Arson, 8146 pour Longchamp et 8155 pour le site de Kaddouz. Les NO<sub>x</sub>, ou oxydes d'azote, sont des composés gazeux essentiellement émis par le trafic routier.



**Figure 12 : Variation de la concentration en BC<sub>ff</sub> en fonction de la concentration en NO<sub>x</sub>.**

Les NO<sub>x</sub> sont utilisés comme traceurs du trafic, principalement routier.

Une corrélation très forte est observée entre BC<sub>ff</sub> et NO<sub>x</sub> sur les trois sites, ce qui confirme l'origine « trafic routier » du BC<sub>ff</sub>.

Les points hors de la droite de corrélation, suggèrent l'existence d'autres sources impactant les sites de Nice-Arson et de Marseille-Longchamp : activités maritime et/ou industrielles.

<sup>5</sup> Une année comporte 8760 valeurs horaires pour un taux de fonctionnement de 100 %. Le nombre de données représenté par site dépend du taux de fonctionnement de l'aethalomètre et de celui de l'analyseur de NO<sub>x</sub>.

## 4.7 Estimation de la contribution « biomasse (wb) » et « carburant fossile (ff) » dans la concentration en particules PM<sub>10</sub>

### 4.7.1 Méthodologie utilisée

L'aethalomètre permet de distinguer et de quantifier deux fractions de Black Carbon que l'on peut relier à la combustion d'hydrocarbures (BC<sub>ff</sub>) et à la combustion de biomasse (BC<sub>wb</sub>). Ces fractions peuvent ensuite être utilisées pour estimer (à l'aide d'un facteur multiplicatif et avec une précision de l'ordre de 50 %) les concentrations de PM<sub>10</sub> attribuables à ces deux familles de sources, à partir de l'expression suivante :

- $PM_{ff} = a \times BC_{ff}$
- $PM_{wb} = b \times BC_{wb}$

où  $PM_{ff}$  et  $PM_{wb}$  représentent la concentration massique des particules issues respectivement de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse au sein de la fraction PM<sub>10</sub>.

$PM_{ff}$  et  $PM_{wb}$  sont constituées, en plus du BC, principalement d'aérosols organiques primaires. Les coefficients a et b sont issus (i) de la littérature scientifique pour la contribution fossile, et (ii) d'études basées sur la méthodologie du LCSQA pour la contribution biomasse.

Il est à noter que les émissions primaires à l'échappement automobile sont comprises au sein de la fraction liée à la combustion d'hydrocarbures ( $PM_{ff}$ ), mais que ces estimations n'intègrent pas les particules issues de l'abrasion de la chaussée, des pneus, des freins .... Elles ne tiennent pas compte non plus de l'influence de l'échappement automobile sur la formation d'aérosols secondaires à partir des émissions de précurseurs gazeux (dont les NO<sub>x</sub>, issus à 60% du transport au niveau national).

Des études ont montré qu'il était possible d'estimer un ratio permettant de passer d'une concentration en BC à une concentration en PM<sub>10</sub> issues des deux principales sources de combustion identifiées par l'aethalomètre (Chevrier 2016; LCSQA 2018).

Pour la combustion de fuel fossile, l'expression suivante est utilisée quel que soit le site de mesure (El Haddad et al. 2009; Laschober et al. 2004) :

$$PM_{ff} = 2,5 \times BC_{ff}$$

Pour la combustion de la biomasse, il a été montré qu'un ratio unique ne pouvait être utilisé pour l'ensemble des sites de mesure. En effet, il varie selon les caractéristiques des sites.

En utilisant la méthodologie donnée par le LCSQA en 2015 (Favez 2015), basée sur l'utilisation des concentrations en lévoglucosan, traceur organique univoque de la combustion de la biomasse, deux ratios spécifiques ont été déterminés pour chaque site permanent :

$$\begin{aligned} \text{Nice-Arson} &: PM_{wb} = 16,6 \times BC_{wb} \\ \text{Marseille-Longchamp} &: PM_{wb} = 14,7 \times BC_{wb} \end{aligned}$$

Les mesures de lévoglucosan n'ayant pas été effectuées sur le site Marseille-Kaddouz, le ratio utilisé est celui de Marseille-Longchamp.

Pour la combustion de la biomasse, les expressions suivantes sont retenues :

$$\begin{aligned} \text{Nice-Arson} &: PM_{WB} = 16,6 \times BC_{WB} \\ \text{Marseille-Longchamp} &: PM_{WB} = 14,7 \times BC_{WB} \\ \text{Marseille-Kaddouz} &: PM_{WB} = 14,7 \times BC_{WB} \end{aligned}$$

## 4.7.2 Résultats des estimations

A partir des données de  $BC_{ff}$  et  $BC_{wb}$  et des expressions définies ci-dessus, on établit une base de données des valeurs estimées des contributions  $PM_{ff}$  et  $PM_{wb}$ . Le traitement et l'analyse de cette base de données sont présentés dans la suite de ce bilan.

### ► Évolution temporelle et concentrations moyennes

Les concentrations moyennes annuelles en  $PM_{10}$  obtenues sur les trois sites ainsi que les estimations en  $PM_{ff}$  et  $PM_{wb}$  sont présentées dans le Tableau 4 et illustrées sur les graphiques de la figure 13. Le site de Kaddouz montre la plus forte contribution des  $PM_{ff}$  aux  $PM_{10}$  (23 % en moyenne et 61 % en maximum journalier), ce qui est cohérent avec sa proximité de la rocade L2. Bien que la contribution des  $PM_{wb}$  aux  $PM_{10}$  à Kaddouz soit la plus faible des trois sites (13 %), c'est pourtant sur ce site que la valeur maximale journalière est atteinte (80 %).

Les sites d'Arson et Longchamp, tous deux en situations de fonds urbains, montrent des contributions des  $PM_{ff}$  et  $PM_{wb}$  aux  $PM_{10}$  équivalentes, tant sur les moyennes annuelles que sur les valeurs journalières maximales.

Les sources ff et wb permettent d'expliquer, en moyenne, entre 23 % (Longchamp) et 36 % (Arson et Kaddouz) de la concentration des  $PM_{10}$ .

La masse restante des  $PM_{10}$  provient des autres sources diverses : poussières crustales, embruns marins, émissions biogéniques primaires et secondaires, émissions secondaires de la combustion de la biomasse et du trafic routier, etc.

**Tableau 4 : Moyennes annuelles et maxima journaliers pour chaque site de mesure**

		Nice-Arson	Marseille-Longchamp	Marseille-Kaddouz
<b>Concentration en <math>PM_{10}</math> [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	Moyenne annuelle	21	20	24
	Max. Journalier	41 08/01/2018	62 01/10/2018	68 01/10/2018
<b>Concentration estimée en <math>PM_{FF}</math> [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	Moyenne annuelle	3	4	6
	Max. Journalier	12 22/03/2018	10 16/02/2018	13 04/12/2018
<b>Contribution des <math>PM_{FF}</math> aux <math>PM_{10}</math> [%]</b>	Moyenne annuelle	16	19	23
<b>Concentration estimée en <math>PM_{WB}</math> [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	Moyenne annuelle	4	3	3
	Max. Journalier	12 25/01/2018	18 15/12/2018	27 15/12/2018
<b>Contribution des <math>PM_{WB}</math> aux <math>PM_{10}</math> [%]</b>	Moyenne annuelle	20	14	13

L'analyse des différentes compositions dans la concentration en  $PM_{10}$  montre, comme pour la composition du Black Carbon, une concentration en  $PM_{wb}$  issue de la combustion de la biomasse équivalente sur les trois sites, alors que les coefficients d'estimation, bien que proches, ne sont pas identiques.

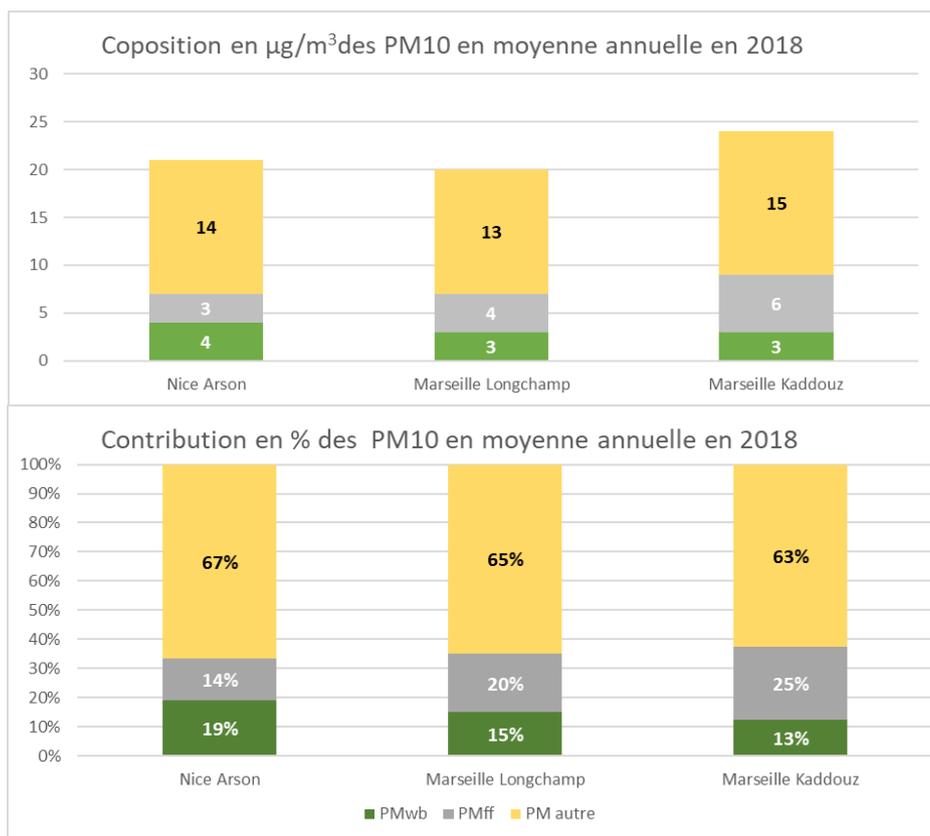
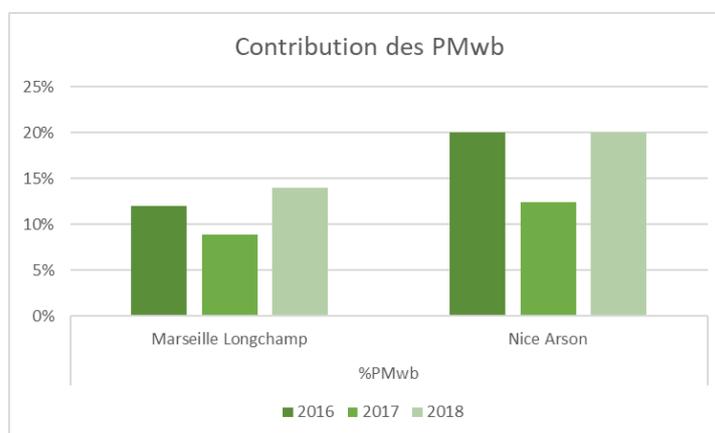


Figure 13: Composition et contribution dans les PM10 en moyenne annuelle en 2018 sur les sites de surveillance

### ► Evolution temporelle depuis 2016

Les graphiques de la figure 14 montrent les évolutions, entre 2016 et 2018, des contributions moyennes annuelles des PM<sub>wb</sub> et PM<sub>ff</sub> à la concentration des PM10. Au cours des 3 dernières années, les évolutions restent contenues dans un même ordre de grandeur ; entre 10% et 20% pour les PM<sub>wb</sub> et 12% et 20% pour les PM<sub>ff</sub>.

Un constat identique peut être fait pour les deux contributions, PM<sub>wb</sub> et PM<sub>ff</sub>, et pour les deux sites. Après avoir connu une légère baisse en 2017, les contributions sont reparties à la hausse en 2018. L'explication de cette évolution est difficile. On peut cependant invoquer des variations dans les niveaux et la qualité des émissions et dans la météorologie pendant les 3 années en question.



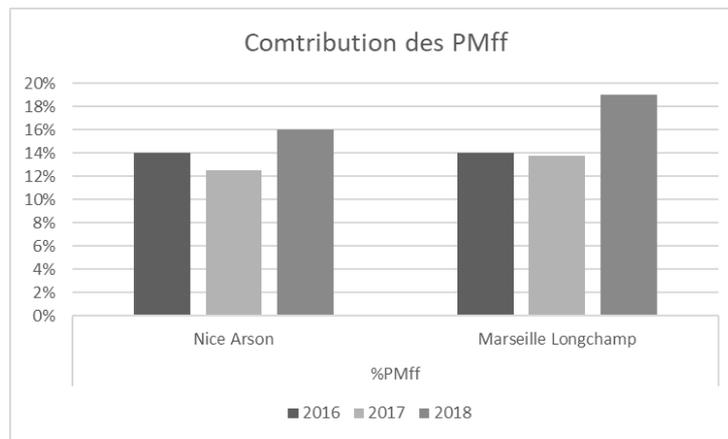


Figure 14 : Evolution des contributions moyennes annuelles des PMwb et PMff aux PM10 de 2016 à 2019

### ► Comportement temporel en 2018

La Figure 15 présente l'évolution temporelle des concentrations journalières en PM<sub>10</sub> et des fractions issues de la combustion de bois et de la combustion de fuel fossile.

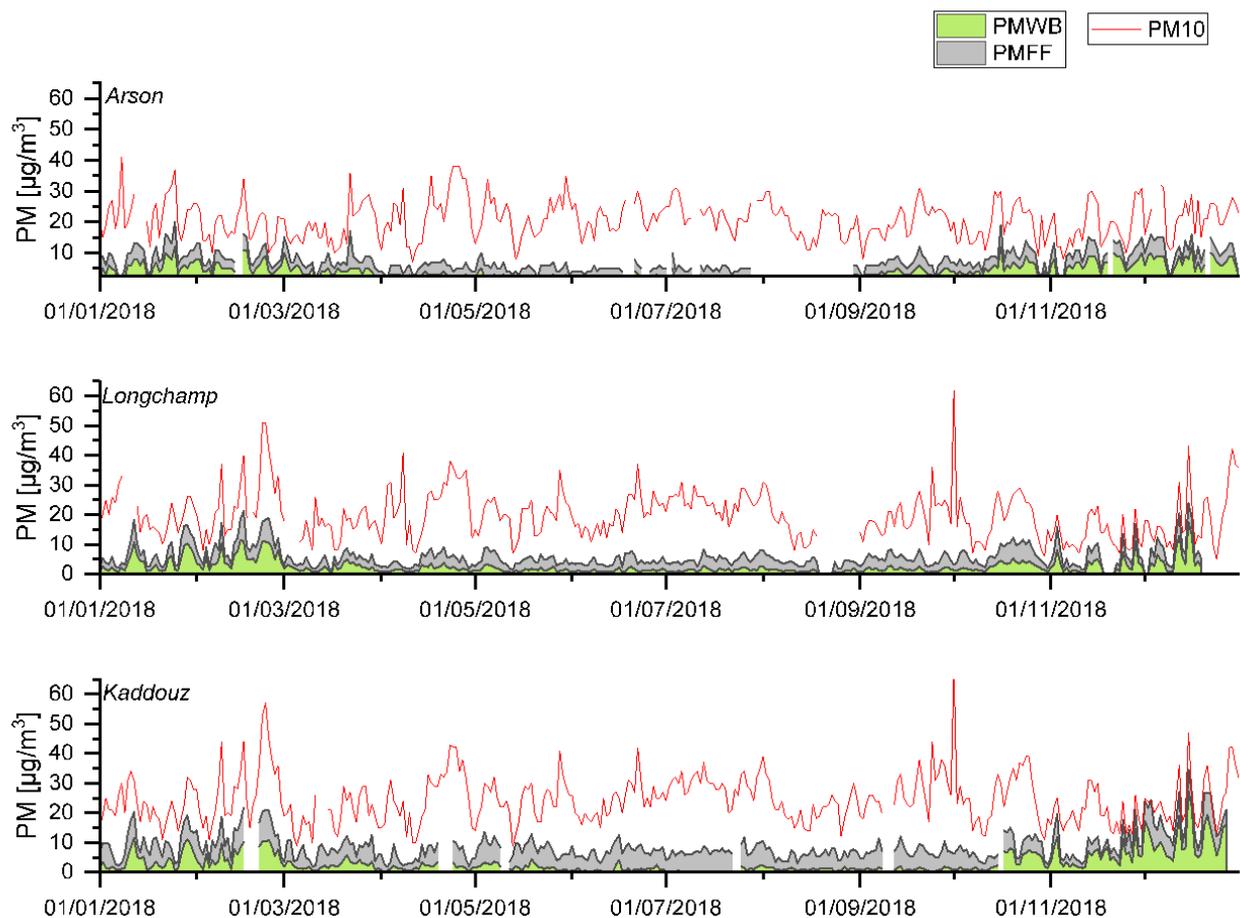
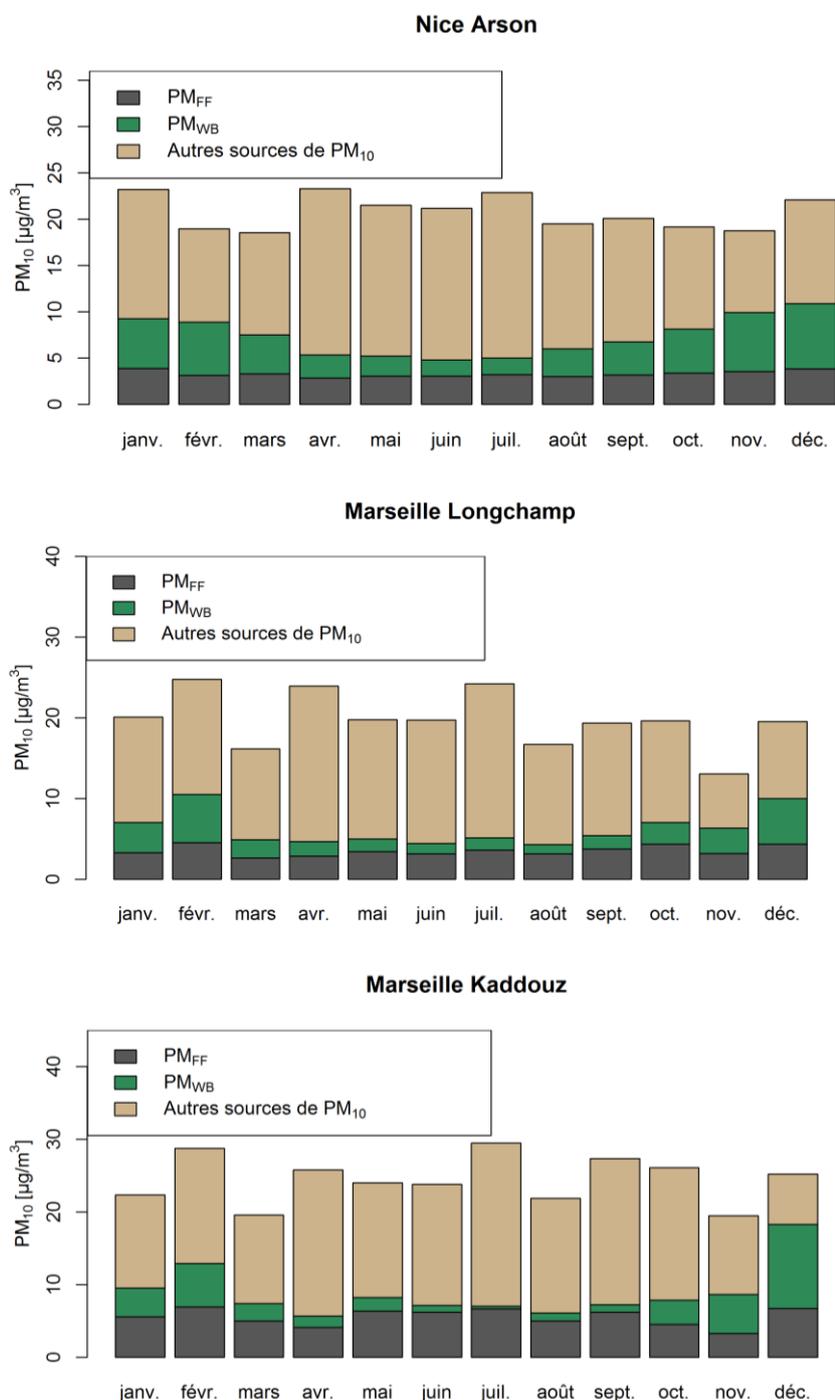


Figure 15 : Évolution temporelle des concentrations en moyenne journalière de PM<sub>10</sub> et des fractions issues de la combustion de bois (PM<sub>wb</sub>) et de la combustion de fuel fossile (PM<sub>ff</sub>)

La part des  $PM_{ff}$  est stable durant l'année, maintenant un niveau constant pendant l'année. Les  $PM_{wb}$  au contraire montrent une forte variabilité saisonnière. Leur concentration est quasiment nulle entre mai et septembre mais dépasse celle des  $PM_{ff}$  durant la saison froide.

L'été, la majeure partie de la concentration des  $PM_{10}$  ne provient pas des phénomènes de combustion. Pendant l'hiver, la situation s'inverse, montrant la prédominance de ces phénomènes. Les  $PM_{wb}$  et les  $PM_{ff}$  contribuent de façon non négligeable aux  $PM_{10}$  mesurées.

La Figure 16 représente les concentrations moyennes mensuelles des  $PM_{10}$  et des deux sources de combustion identifiées.



**Figure 16: Moyennes mensuelles des concentrations en  $PM_{10}$  et des fractions issues de la combustion de bois et de la combustion de fuel fossile**

La représentation des moyennes mensuelles confirme notre constat précédent.

L'impact saisonnier est très peu visible dans les concentrations en  $PM_{ff}$  dont la source est relativement constante pendant toutes les saisons.

Les concentrations en  $PM_{wb}$  varient beaucoup suivant les saisons. En effet, une importante variation est visible pour les trois sites permanents entre la contribution minimale observée (8% à Arson, 6% à Longchamp et 1% à Kaddouz au mois de juillet) et la contribution maximale (34 % à Arson en novembre, 29 % à Longchamp et 46 % à Kaddouz au mois de décembre). La contribution hivernale étant principalement due au chauffage résidentiel.

Le site de Kaddouz présente la plus forte variation saisonnière en  $PM_{wb}$ . Ce site, bien qu'à proximité directe de la rocade L2, est également proche d'un quartier résidentiel avec des maisons individuelles, susceptibles d'être équipées de chauffage au bois.

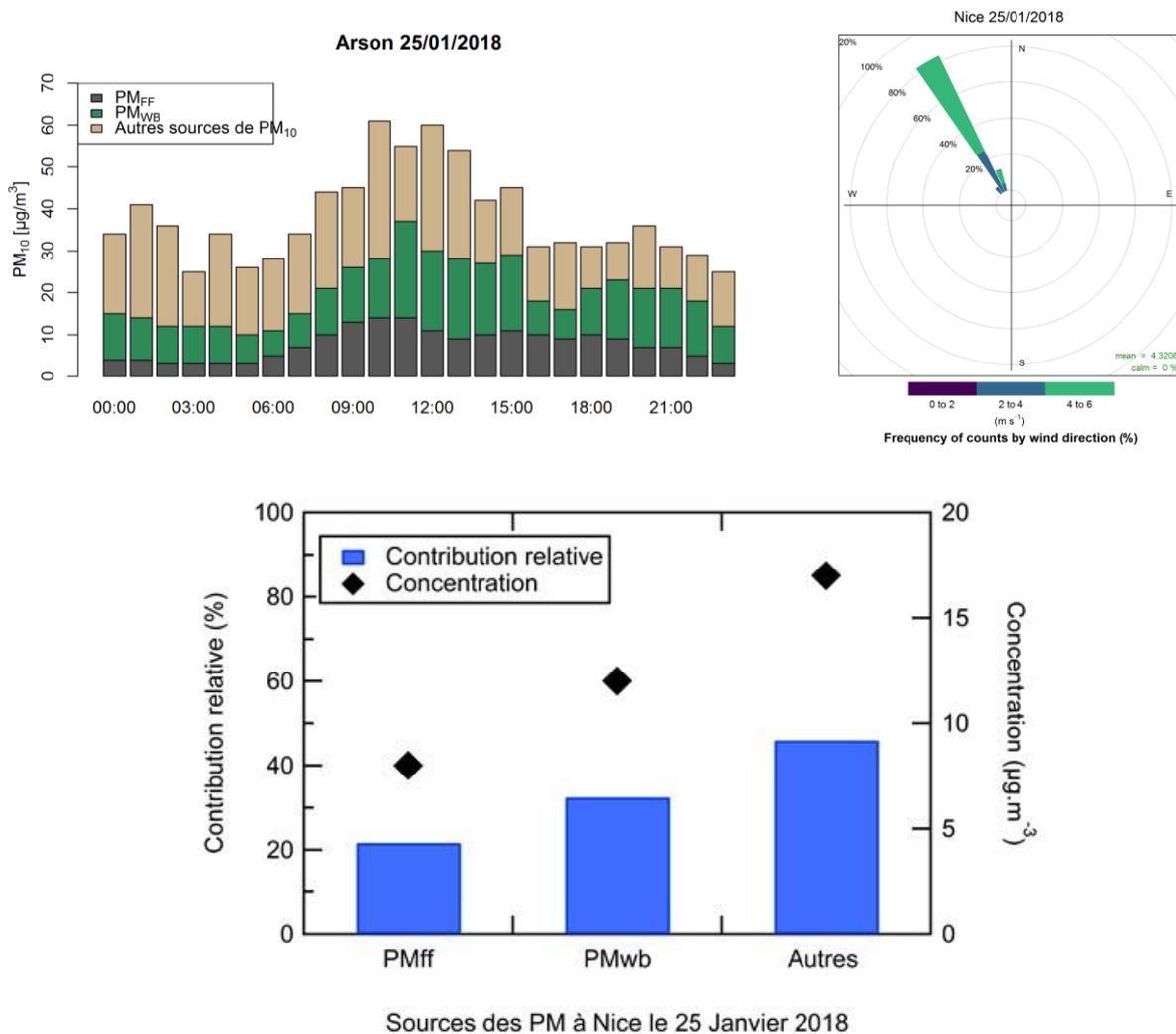
Les concentrations en  $PM_{wb}$  varient beaucoup suivant les saisons. Les concentrations en  $PM_{ff}$  restent, quant à elles, relativement constantes.

Les  $PM_{wb}$  contribuent de façon importante aux  $PM_{10}$  durant la période hivernale de l'ordre de 20 % (25 % à Marseille-Kaddouz, 19 % à Marseille-Longchamp et 17 % à Nice-Arson, pendant les mois de janvier, février et décembre 2018. La contribution de cette fraction aux  $PM_{10}$  reste inférieure à 10 % sur les trois sites durant l'été (juin, juillet, août)

## 5. Analyse de journées particulières

### 5.1 Nice, 25 janvier 2018

Le 25 janvier 2018 est la journée présentant la concentration journalière de  $PM_{wb}$  la plus importante sur le site de Nice-Arson ( $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentration en  $PM_{10}$  de ce jour est de  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les  $PM_{wb}$  représentent donc 32 % des  $PM_{10}$ .



**Figure 17 : Évolution de la composition des  $PM_{10}$  le 25 janvier 2018 et la rose des vents.**

Le vent d'origine Nord-Ouest est modéré durant la majeure partie de la journée. La journée du 25 janvier 2018 a été la plus froide du mois avec une température maximale de 11 °C.

L'utilisation du chauffage résidentiel au bois, en lien avec le froid constaté au cours de la journée, explique l'importante contribution des  $PM_{wb}$  ce jour.

## 5.2 Marseille, 16 février 2018

Le 16 février 2018, la concentration moyenne journalière en  $PM_{10}$  a atteint  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Marseille-Longchamp et  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Marseille-Kaddouz.

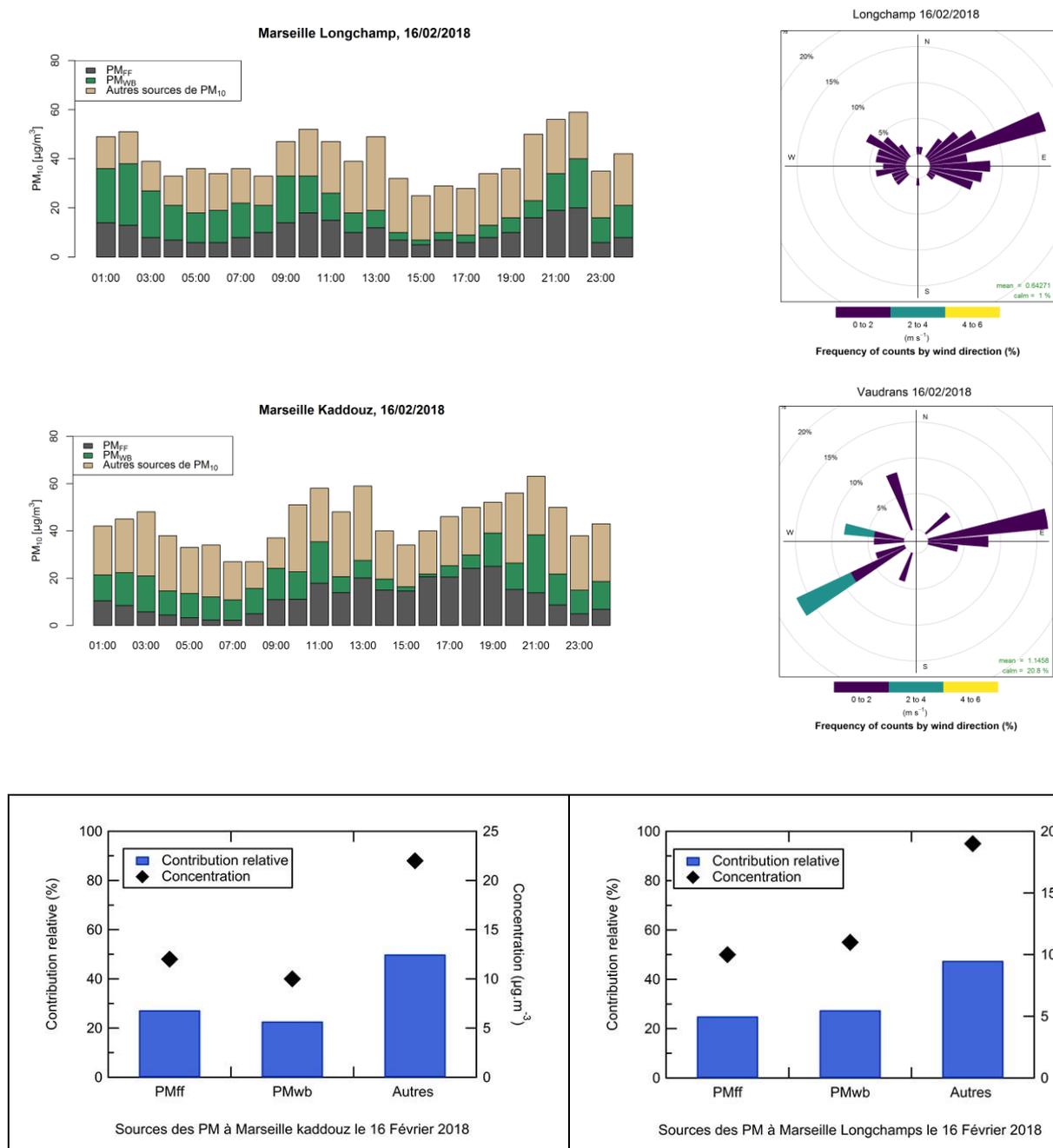


Figure 18 : Détail de la composition des  $PM_{10}$  le 16 février 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes

Les phénomènes de combustion permettent d'expliquer plus de 50 % de la concentration totale des  $PM_{10}$  ce jour. Les vents sont globalement calmes à Longchamp et plus élevé à Kaddouz. La contribution conséquente des  $PM_{wb}$  est en lien avec la période hivernale. La contribution des  $PM_{ff}$  est cependant supérieure à Marseille-Kaddouz, proche de la L2.

### 5.3 Marseille, 23 et 24 février 2018

Les journées du 23 et 24 février présentent des concentrations journalières moyennes respectives de 51 et 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Marseille-Longchamp et de 57 et 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Marseille-Kaddouz.

Le niveau d'information et recommandation en  $\text{PM}_{10}$  (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière) a été dépassé sur Marseille le 23 février.

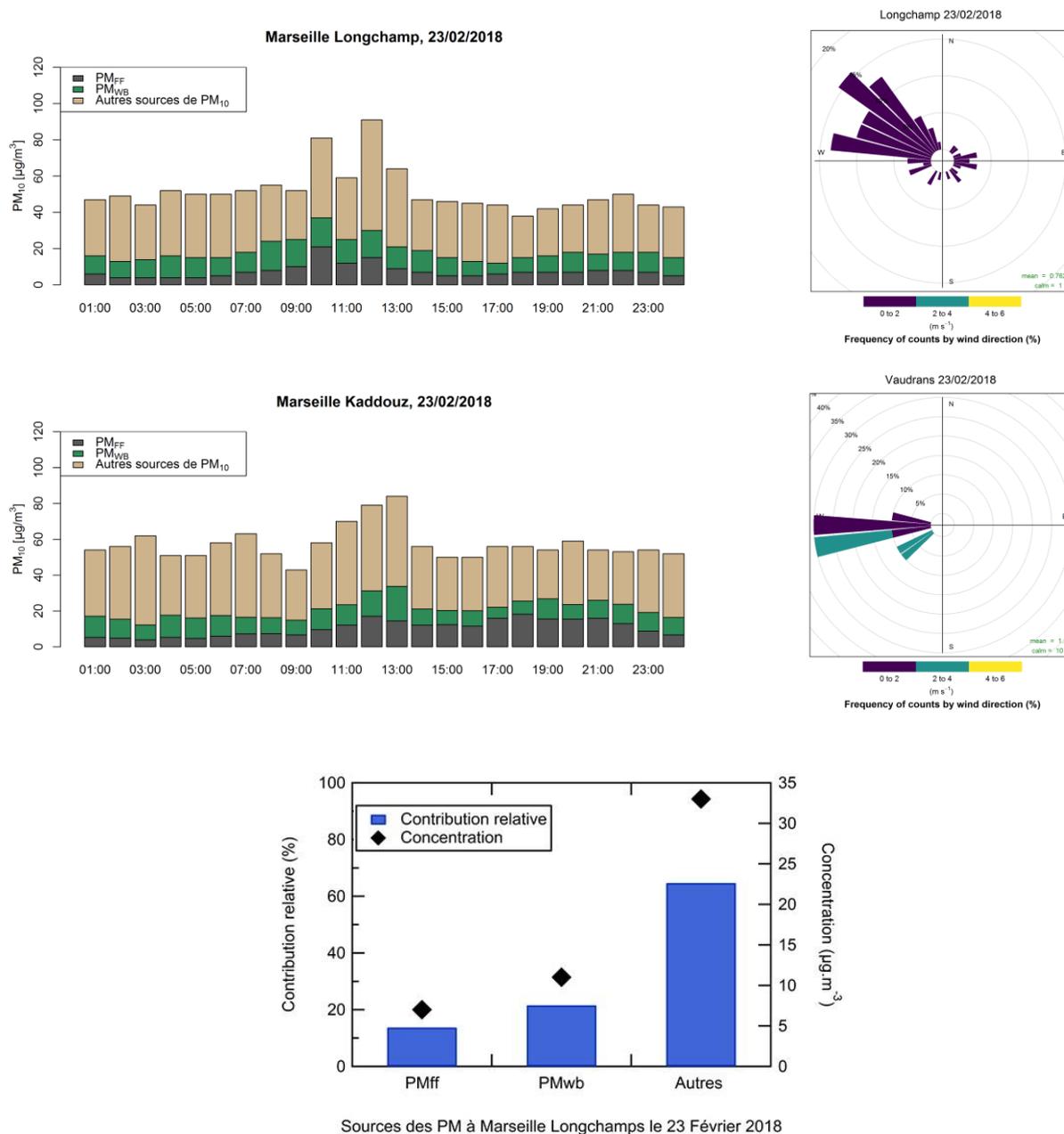
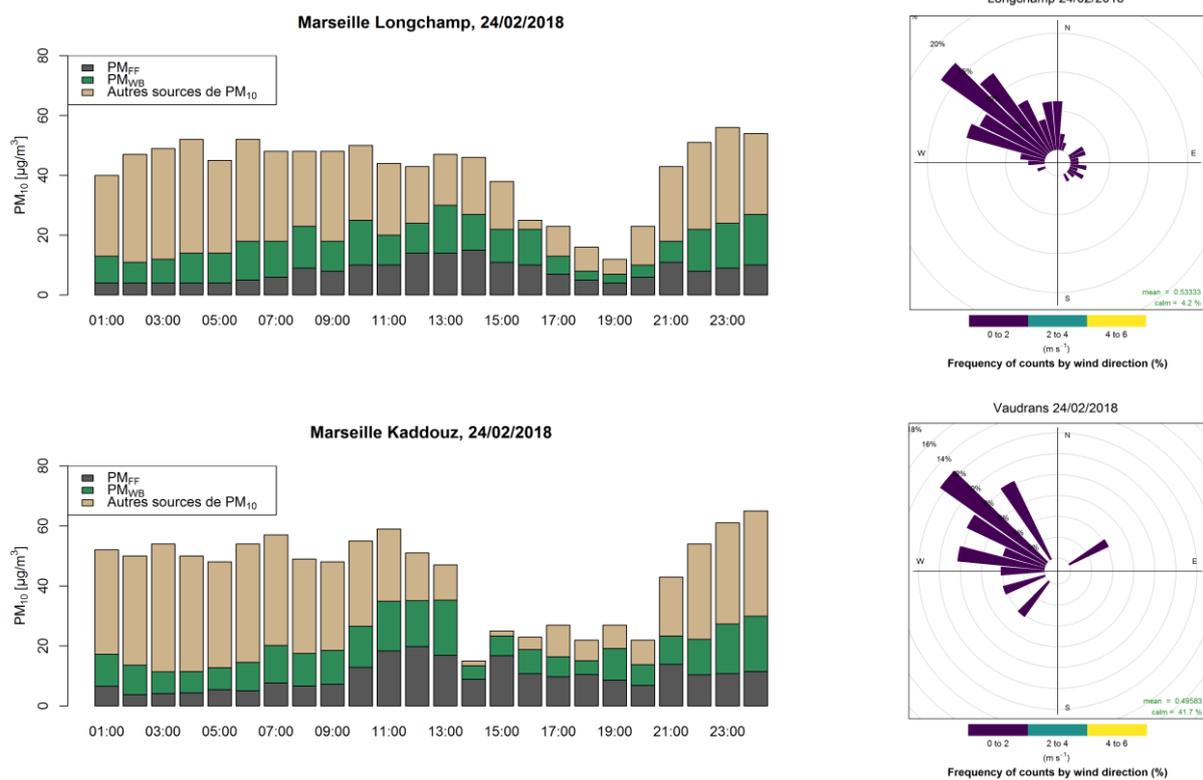


Figure 19 : Détail de la composition des  $\text{PM}_{10}$  le 23 février 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes



**Figure 20 : Détail de la composition des PM<sub>10</sub> le 24 février 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes**

Pour ces deux journées, le vent est calme, pointant une origine locale des sources de pollution.

Le 24 février, un épisode de légère précipitation (7 mm de pluie entre 07h00 et 19h00) peut expliquer la diminution de l'influence des sources hors combustion de PM<sub>10</sub> au cours de la journée.

Lors de ces deux journées, les phénomènes de combustion expliquent entre 35 et 45 % de la concentration des PM<sub>10</sub>.

L'origine des pointes de pollution observées peut être considérée comme « mixte ».

## 5.4 Marseille, 1<sup>er</sup> octobre 2018

Le 1<sup>er</sup> octobre 2018, le niveau d'information et recommandation en PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière) a été dépassé en différents points des Bouches-du-Rhône. À Marseille, 62 µg/m<sup>3</sup> ont été relevés à Longchamp et 68 µg/m<sup>3</sup> à Kaddouz (moyenne journalière). Un mistral violent a été relevé ce jour.

L'évolution de la composition des PM<sub>10</sub> au cours de la journée est illustrée dans la figure 21.

Les contributions en PM<sub>ff</sub> et PM<sub>wb</sub> sont très faibles au regard des niveaux de PM<sub>10</sub> relevés.

Les niveaux très importants de PM<sub>10</sub> mesurés proviennent donc majoritairement d'autres sources que la combustion de fioul fossile ou de la combustion de biomasse.

Il est fort probable que le mistral ait provoqué un ré-entrainement de particules crustales, entraînant les niveaux mesurés.

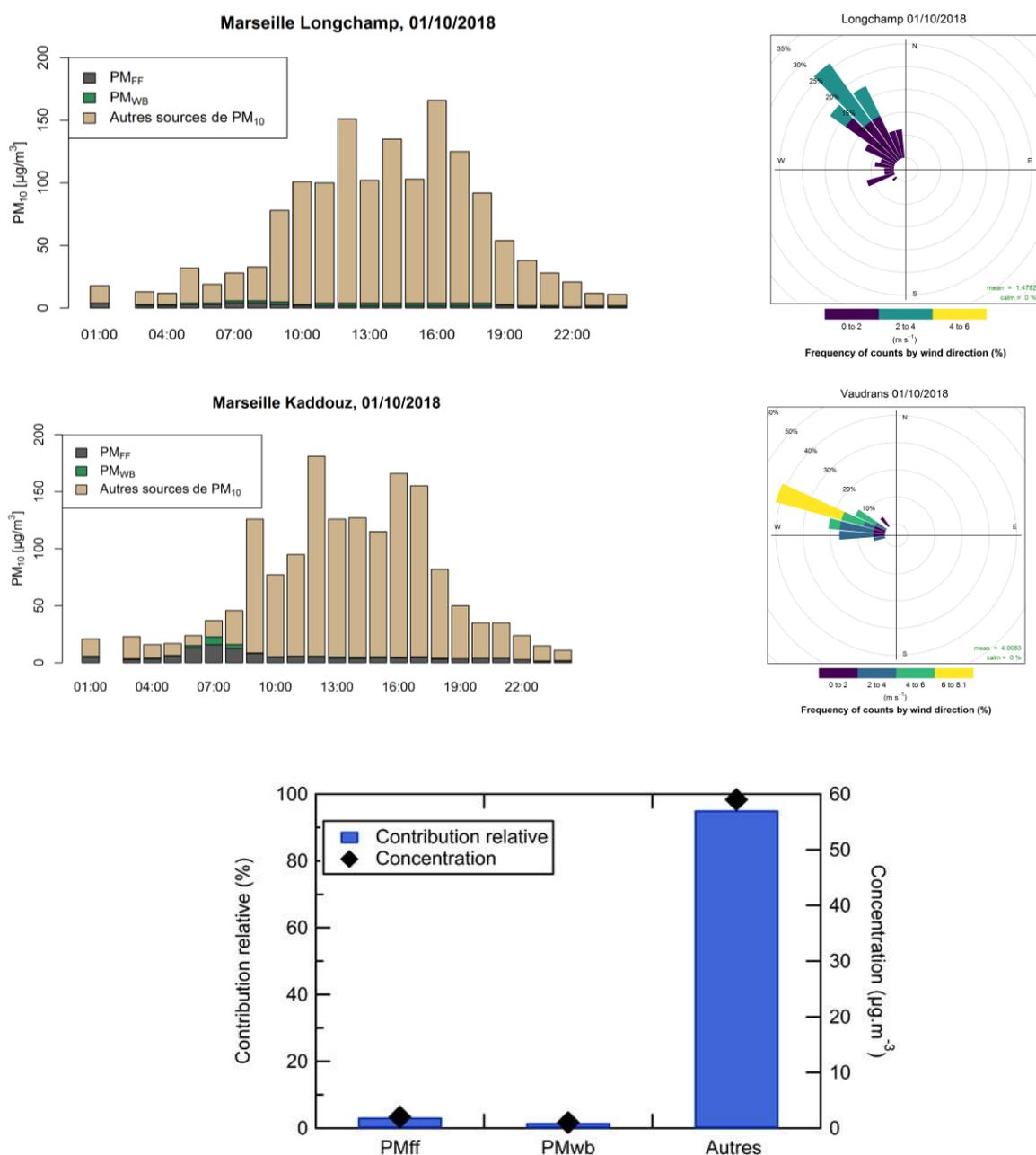


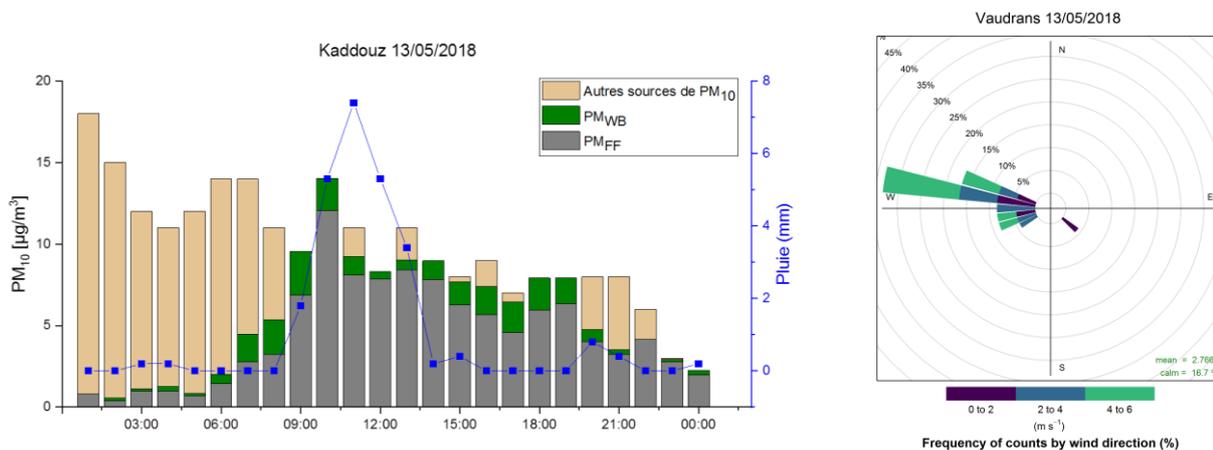
Figure 21 : Détail de la composition des PM<sub>10</sub> le 1<sup>er</sup> octobre 2018 à Marseille et les roses des vents correspondantes

## 5.5 Marseille, 13 mai 2018

Sur le site de Marseille-Kaddouz, le 13 mai 2018, la moyenne journalière en  $PM_{10}$  est de  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les  $PM_{FF}$  représentent 50 % de cette concentration.

L'épisode de pluie, au cours de cette journée, peut expliquer la diminution importante de l'influence des sources hors combustion.



**Figure 22 : Détail de la composition des  $PM_{10}$  et pluviométrie le 13 mai 2018 à Kaddouz et la rose des vents correspondantes**

Les sources hors combustions (donc hors ff et wb) sont présentes dans les premières heures de la journée et contribuent majoritairement à la concentration des  $PM_{10}$ .

Les précipitations entre 09h00 et 14h00 entraînent un lessivage des particules présentes dans l'atmosphère, ce qui fait chuter la concentration mesurée de  $PM_{10}$  non issues de phénomènes de combustion (autres sources).

Les  $PM_{FF}$ , provenant du trafic routier restent relativement présentes du fait de la proximité de la rocade L2 de la station Marseille-Kaddouz.

## 6. Conclusion

La mesure du Black Carbon (BC) est assurée par AtmoSud depuis 2014 grâce à des aethalomètres (AE33). Ces appareils permettent de distinguer, en continu, le BC issu de la combustion de carburants fossiles (BC<sub>ff</sub>) et celui provenant de la combustion de biomasse (BC<sub>wb</sub>).

Les sites de Nice-Arson, Marseille-Longchamp et Marseille-Kaddouz ont été monitorés durant l'année 2018.

### ► Des moyennes annuelles comparables d'un site à l'autre malgré des configurations différentes

Les moyennes annuelles en BC, BC<sub>wb</sub> et BC<sub>ff</sub> obtenues à Nice-Arson et Marseille-Longchamp (sites de fond urbain) sont équivalentes et sont stables depuis 2016. Les moyennes annuelles en BC et BC<sub>ff</sub> sont plus importantes à Marseille-Kaddouz, site à proximité du trafic routier de la rocade L2.

### ► Les profils journaliers illustrent les particularités des sites instrumentés

Les profils journaliers des concentrations en BC<sub>ff</sub> à Arson et Longchamp présentent deux pics distincts, un le matin et un le soir, correspondant aux heures de pointe du trafic routier, lors des trajets domicile-travail. Ces pics sont plus importants pendant la période froide, à cause de l'accumulation des polluants plus importante dans ces conditions hivernales. Il faut noter que, si ces deux pics de BC<sub>ff</sub> sont visibles à Marseille-Kaddouz, la concentration diminue d'une manière moins significative que sur les autres sites. Cela peut être expliqué par la proximité de la rocade L2 et de son trafic présent tout au long de la journée.

Les profils journaliers du BC<sub>wb</sub> montrent une augmentation des concentrations durant les mois d'automne et d'hiver, avec principalement un pic le soir, correspondant à la combustion de bois lors de la reprise du chauffage résidentiel.

Les sources de BC<sub>ff</sub> et BC<sub>wb</sub> peuvent être très locales mais également régionales. Par exemple, des niveaux importants de BC<sub>wb</sub> sont relevés à Marseille-Kaddouz lors de conditions stables (vent calme), témoignant d'une origine locale. À Marseille-Longchamp, le BC<sub>wb</sub> est plus présent lors de situations des brises de terre, montrant une provenance régionale (vallée de l'Huveaune).

L'utilisation de facteurs spécifiques permet d'estimer les contributions (PM<sub>wb</sub> et PM<sub>ff</sub>) des deux sources (combustion de fuel fossile et biomasse) à la concentration totale des PM<sub>10</sub>.

Les PM<sub>wb</sub> contribuent de façon importante aux PM<sub>10</sub> durant la période hivernale (25 % à Marseille-Kaddouz, 19 % à Marseille-Longchamp et 17 % à Nice-Arson, pendant les mois de janvier, février et décembre 2018). La contribution de cette fraction aux PM<sub>10</sub> reste inférieure à 10 % sur les trois sites durant l'été (juin, juillet, août).

L'influence du trafic routier est marquée sur le site de Marseille-Kaddouz, situé à proximité de la rocade L2 où les PM<sub>ff</sub> représentent 23 % de la concentration en PM<sub>10</sub> sur l'année. Cette contribution est de 16 % et 19 % respectivement à Nice-Arson et Marseille-Longchamp respectivement.

La quantification de PM<sub>wb</sub> et PM<sub>ff</sub> en continu permet la caractérisation des sources potentielles des PM<sub>10</sub>, plus particulièrement lors des épisodes de pollution. Cela permet notamment de déterminer si l'origine des particules est crustale ou est liée à des phénomènes de combustion.

# BIBLIOGRAPHIE

- AirParif. 2019. « Bilan de la qualité de l'air, année 2018 - Surveillance et information en Ile de France ». [http://www.airparif.asso.fr/\\_pdf/publications/bilan-2018.pdf](http://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/bilan-2018.pdf).
- ANSES. 2018. « Polluants « émergents » dans l'air ambiant Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance de la qualité de l'air ». 2015\_SA\_0216. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2015SA0216Ra.pdf>.
- . 2019. « Particules de l'air ambiant extérieur Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie Impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra.pdf>.
- Atmo Nouvelle-Aquitaine. 2019. « Impact du chauffage au bois sur les concentrations en particules à La Rochelle ». [https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/sites/aq/files/atoms/files/rapportatmona\\_urb\\_ext\\_18\\_308\\_ae33\\_lr\\_versionfinale\\_2019-07-19.pdf](https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/sites/aq/files/atoms/files/rapportatmona_urb_ext_18_308_ae33_lr_versionfinale_2019-07-19.pdf).
- Bodhaine, Barry A. 1995. « Aerosol absorption measurements at Barrow, Mauna Loa and the south pole ». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 100 (mai): 8967-75.
- Chevrier, Florie. 2016. « Chauffage au bois et qualité de l'air en Vallée de l'Arve : définition d'un système de surveillance et impact d'une politique de rénovation du parc des appareils anciens ». <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01527559>.
- El Haddad, Imad, Nicolas Marchand, Julien Dron, Brice Temime-Roussel, Etienne Quivet, Henri Wortham, Jean Luc Jaffrezo, et al. 2009. « Comprehensive primary particulate organic characterization of vehicular exhaust emissions in France ». *Atmospheric Environment* 43 (39): 6190-98. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.001>.
- Favez, O. 2015. « Impact de la combustion de biomasse sur les concentrations de PM10 (programme CARA - hiver 2014-2015) ». INERIS - LCSQA. <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2015/ineris/impact-combustion-biomasse-concentrations-pm10-programme-cara-hiver-2014-2015>.
- Favez, O., I. El Haddad, C. Piot, A. Boréave, E. Abidi, N. Marchand, J.-L. Jaffrezo, et al. 2010. « Inter-Comparison of Source Apportionment Models for the Estimation of Wood Burning Aerosols during Wintertime in an Alpine City (Grenoble, France) ». *Atmospheric Chemistry and Physics* 10 (12): 5295-5314. <https://doi.org/10.5194/acp-10-5295-2010>.
- Hansen, A. D. A., T. J. Conway, L. P. Strele, B. A. Bodhaine, K. W. Thoning, P. Tans, et T. Novakov. 1989. « Correlations among Combustion Effluent Species at Barrow, Alaska: Aerosol Black Carbon, Carbon Dioxide, and Methane ». *Journal of Atmospheric Chemistry* 9 (1): 283-99. <https://doi.org/10.1007/BF00052838>.
- Herich, H., C. Hueglin, et B. Buchmann. 2011. « A 2.5 Year's Source Apportionment Study of Black Carbon from Wood Burning and Fossil Fuel Combustion at Urban and Rural Sites in Switzerland ». *Atmospheric Measurement Techniques* 4 (7): 1409-20. <https://doi.org/10.5194/amt-4-1409-2011>.
- Kirchstetter, Thomas W., T. Novakov, et Peter V. Hobbs. 2004. « Evidence That the Spectral Dependence of Light Absorption by Aerosols Is Affected by Organic Carbon ». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 109 (D21). <https://doi.org/10.1029/2004JD004999>.
- Kocbach, Anette, Yanjun Li, Karl E. Yttri, Flemming R. Cassee, Per E. Schwarze, et Ellen Namork. 2006. « Physicochemical characterisation of combustion particles from vehicle exhaust and residential wood smoke ». *Particle and Fibre Toxicology* 3 (1): 1. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-3-1>.
- Laschober, Christian, Andreas Limbeck, Josef Rendl, et Hans Puxbaum. 2004. « Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen-tunnel (Vienna, Austria) ». *Atmospheric Environment* 38 (14): 2187-95. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.017>.
- LCSQA. 2016. « Guide méthodologique Calcul des statistiques relatives à la qualité de l'air ». [https://www.lcsqa.org/system/files/lcsqa2016-guide\\_calcul\\_statistiques\\_qa-drc-16-159667-08455a.pdf](https://www.lcsqa.org/system/files/lcsqa2016-guide_calcul_statistiques_qa-drc-16-159667-08455a.pdf).
- . 2018. « Guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par Aethalomètre multi longueur d'onde AE33 dans l'air ambiant ». [https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/lcsqa2016-guide\\_methodologique\\_ae33\\_drc-17-167619-09507b.pdf](https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/lcsqa2016-guide_methodologique_ae33_drc-17-167619-09507b.pdf).
- OMS. 2012. « Health effects of black carbon ». [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/162535/e96541.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf).

- Sandradewi, J., A. S. H. Prévôt, E. Weingartner, R. Schmidhauser, M. Gysel, et U. Baltensperger. 2008. « A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer ». *Atmospheric Environment* 42 (1): 101-12. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.034>.
- Sandradewi, Jisca, Andre S. H. Prévôt, Sönke Szidat, Nolwenn Perron, M. Rami Alfarra, Valentin A. Lanz, Ernest Weingartner, et Urs Baltensperger. 2008. « Using Aerosol Light Absorption Measurements for the Quantitative Determination of Wood Burning and Traffic Emission Contributions to Particulate Matter ». *Environmental Science & Technology* 42 (9): 3316-23. <https://doi.org/10.1021/es702253m>.
- Sciare, J., O. Favez, R. Sarda-Estève, K. Oikonomou, H. Cachier, et V. Kazan. 2009. « Long-Term Observations of Carbonaceous Aerosols in the Austral Ocean Atmosphere: Evidence of a Biogenic Marine Organic Source ». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 114 (D15). <https://doi.org/10.1029/2009JD011998>.
- Sun, Haolin, Laura Biedermann, et Tami C. Bond. 2007. « Color of Brown Carbon: A Model for Ultraviolet and Visible Light Absorption by Organic Carbon Aerosol ». *Geophysical Research Letters* 34 (17). <https://doi.org/10.1029/2007GL029797>.
- Zhou, Cheng, Joyce E. Penner, Mark G. Flanner, Marion M. Bisiaux, Ross Edwards, et Joseph R. McConnell. 2012. « Transport of Black Carbon to Polar Regions: Sensitivity and Forcing by Black Carbon ». *Geophysical Research Letters* 39 (22). <https://doi.org/10.1029/2012GL053388>.

# GLOSSAIRE

## **Définitions**

**Pollution de fond et niveaux moyens :** La pollution de fond correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps relativement longues. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur une année (pour l'ozone, on parle de niveaux moyens exprimés généralement par des moyennes calculées sur huit heures). Il s'agit de niveaux de pollution auxquels la population est exposée le plus longtemps et auxquels il est attribué l'impact sanitaire le plus important.

**Pollution de pointe :** La pollution de pointe correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps courtes. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur la journée ou l'heure.

**Seuil d'alerte à la population :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou la dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

**Seuil d'information-recommandations à la population :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population, rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates.

**Particules d'origine secondaires :** Les particules secondaires résultent de la conversion en particules, des gaz présents dans l'atmosphère. Cette conversion, soit directement gaz-solide, soit par l'intermédiaire des gouttes d'eau, est appelée nucléation. La nucléation est le mécanisme de base de la formation des nouvelles particules dans l'atmosphère. Les principaux précurseurs impliqués dans la formation des particules secondaires sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub> et nitrates), les composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). Les particules secondaires sont essentiellement des particules fines (<2.5 µm).

### **Classification des sites de mesure**

Cette classification a fait l'objet d'une mise à jour au niveau national en 2015. Les stations de mesures sont désormais classées selon 2 paramètres leur environnement d'implantation et l'influence des sources d'émission.

#### Environnement d'implantation

- **Implantation urbaine** : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine bâtie en continu, c'est-à-dire une zone urbaine dans laquelle les fronts de rue sont complètement (ou très majoritairement) constitués de constructions d'au minimum deux étages
- **Implantation périurbaine** : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine majoritairement bâtie, constituée d'un tissu continu de constructions isolées de toutes tailles, avec une densité de construction moindre
- **Implantation rurale** : Elle est principalement destinée aux stations participant à la surveillance de l'exposition de la population et des écosystèmes à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique.

#### Influence des sources

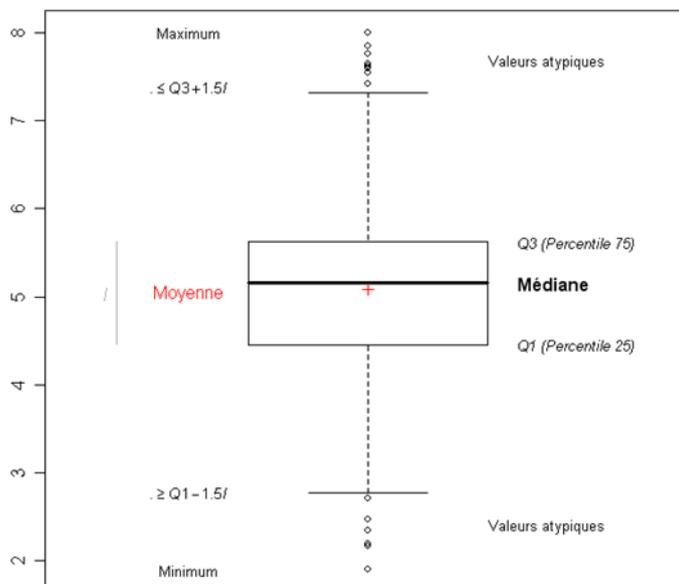
- **Influence Industrielle** : Le point de prélèvement est situé à proximité d'une source (ou d'une zone) industrielle. Les émissions de cette source ont une influence significative sur les concentrations.
- **Influence Trafic** : Le point de prélèvement est situé à proximité d'un axe routier majeur. Les émissions du trafic ont une influence significative sur les concentrations.
- **Influence de Fond** : Le point de prélèvement n'est soumis à aucun des deux types d'influence décrits ci-après. L'implantation est telle que les niveaux de pollution sont représentatifs de l'exposition moyenne de la population (ou de la végétation et des écosystèmes) en général au sein de la zone surveillée. Généralement, la station est représentative d'une vaste zone d'au moins plusieurs km<sup>2</sup>.

# ANNEXES

## ANNEXE 1 Définition statistique d'une « boîte à moustache »

Une boîte à moustache (ou box plot) est un graphique représentant la répartition d'une série statistique.

Pour ce faire, l'échantillon est séparé en 4 parties de même effectif, appelées quartiles. Un quartile est donc constitué de 25 % des données de l'ensemble de l'échantillon. Le deuxième quartile (percentile 50) est appelé plus couramment la médiane (50% des valeurs y sont inférieures, 50% y sont supérieures).



La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles.

Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en termes de longueur,  $1,5 * I$  ( $I$  étant l'écart interquartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches.

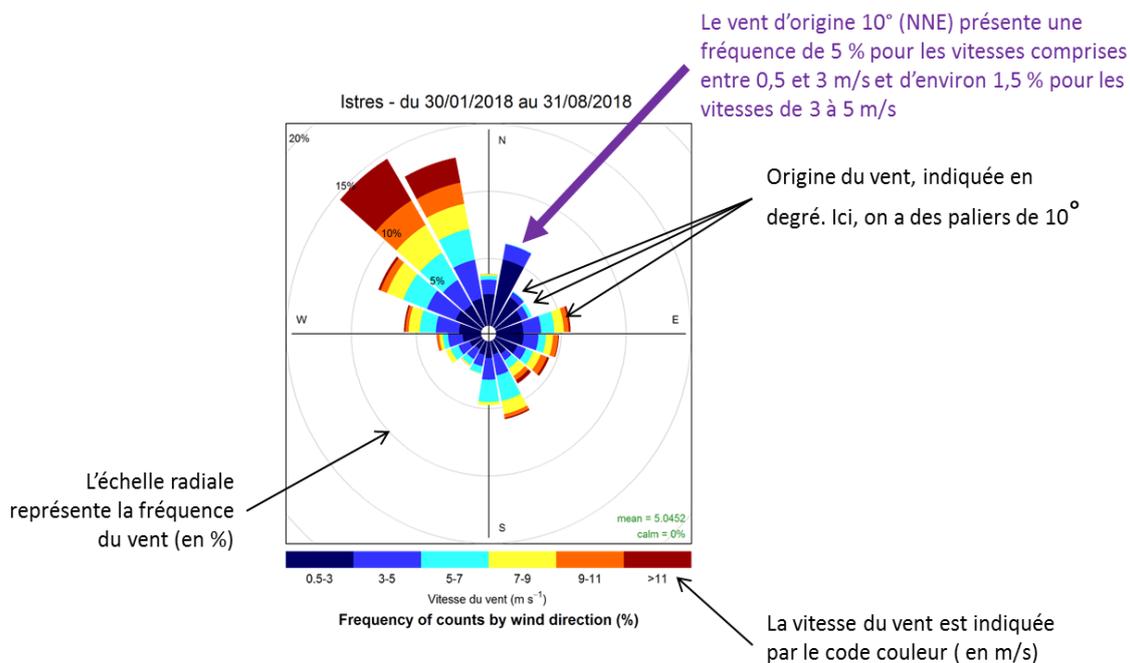
La fin de la moustache supérieure correspond donc soit à la valeur  $3Q + 1,5I$  (3<sup>ème</sup> quartile + une fois et demi l'intervalle inter quartile), soit au maximum de l'échantillon s'il est plus faible que cette valeur.

## ANNEXE 2 Guide de lecture des roses des vents et roses des pollutions

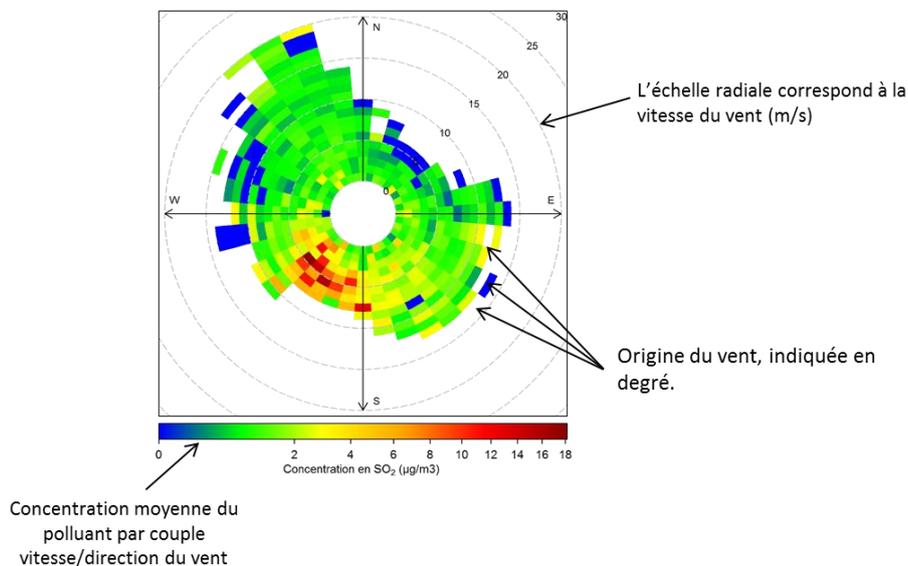
Les roses des vents et des pollutions sont réalisées en utilisant le package Openair pour le logiciel R.

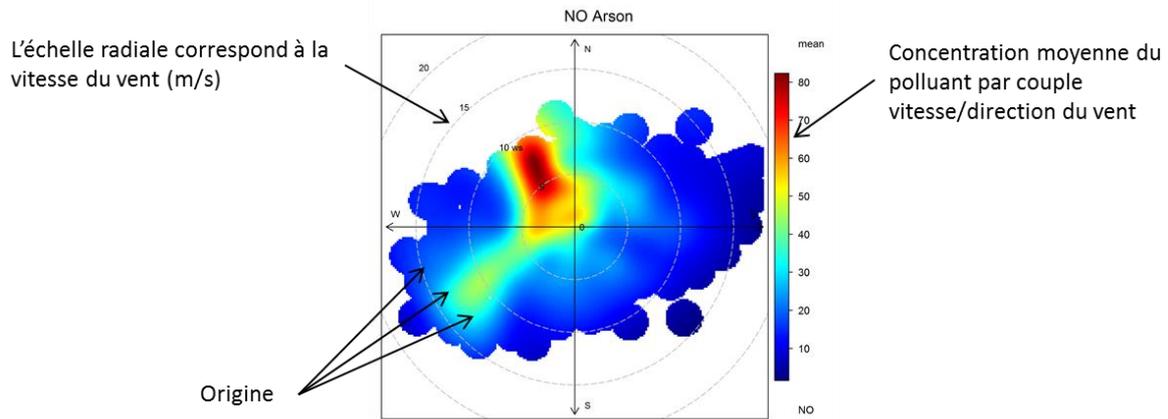
Voir : Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012), **Openair-an R package for air quality data analysis**. *Environmental Modelling & Software*. Volume 27-28, 52-61.

### ► Rose des vents



### ► Rose des pollutions





La rose des pollutions permet d'expliciter l'origine des polluants. Les deux représentations possibles sont exposées ci-dessus. Pour cela, une mesure du vent (direction et vitesse) suivant le même pas de temps que la mesure de la concentration du polluant d'intérêt est nécessaire.

Afin de réaliser ce type de graphe, des couples vitesse/direction (VD) sont définis. Pour chaque couple VD, il est relevé quelle concentration de polluant est mesurée ; ces concentrations sont ensuite moyennées pour attribuer une concentration à chaque couple VD.

## ANNEXE 3 Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS

### ► Sources de pollution

Les polluants atmosphériques ont diverses origines.

Polluants	Sources principales
Particules en suspension (PM)	Les particules proviennent en majorité de la combustion à des fins énergétiques de différents matériaux (bois, charbon, pétrole), du transport routier (imbrûlés à l'échappement, usure des pièces mécaniques par frottement, des pneumatiques...), d'activités industrielles très diverses (sidérurgie, incinération, chaufferie) et du brûlage de la biomasse (incendie, déchets verts).
NO <sub>x</sub> Oxydes d'azote	Les sources principales sont les véhicules et les installations de combustion.

### ► Effets sur la santé

Les polluants atmosphériques ont un impact sur la santé variable en fonction de leur concentration dans l'air, de la dose inhalée et de la sensibilité des individus. Ils peuvent aussi avoir des incidences sur l'environnement.

Polluants	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
Particules en suspension	<ul style="list-style-type: none"> <li>- irritation des voies respiratoires</li> <li>- dans certains cas, altération des fonctions pulmonaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- effets de salissures sur les bâtiments</li> <li>- altération de la photosynthèse</li> </ul>
NO <sub>x</sub> Oxydes d'azote		<ul style="list-style-type: none"> <li>- pluies acides</li> <li>- précurseur de la formation d'ozone</li> <li>- effet de serre</li> <li>- déséquilibre les sols sur le plan nutritif</li> </ul>

### ► Réglementation

En matière de surveillance de la qualité de l'air, la réglementation se base essentiellement sur :

- La directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe,
- La directive 2004/107/CE concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant,
- L'article R221-1 du Code de l'Environnement.

Les valeurs réglementaires sont exprimées en µg/m<sup>3</sup>. L'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes : 293 K et 1013 hPa. La période annuelle de référence est l'année civile. Un seuil est considéré dépassé lorsque la concentration observée est strictement supérieure à la valeur du seuil.

Polluants	Type de réglementation	Valeurs réglementaires ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Durée d'exposition
<b>PM10 Particules</b>	Seuil d'information- recommandations	50	Jour
	Seuil d'alerte	80	Jour
	Valeurs limites	50	Jour (maximum 35 j / an)
		40	Année
	Objectif de qualité	30	Année
<b>PM2.5 Particules</b>	Valeur limite	25	Année
	Valeurs cibles	20	Année
	Objectif de qualité	10	Année
<b>NO<sub>2</sub> Dioxyde d'azote</b>	Seuil d'information- recommandations	200	Heure
	Seuil d'alerte	400	Heure
	Valeurs limites	200	Heure (maximum 18h / an)
		40	Année
	Objectif de qualité	0,25	Année

### ► Recommandations de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS)

Les valeurs recommandées par l'OMS (2005) sont fondées sur des études épidémiologiques et toxicologiques publiées en Europe et en Amérique du Nord. Elles ont pour principal objectif d'être des références pour l'élaboration des réglementations internationales.

Il s'agit de niveaux d'exposition (concentration d'un polluant dans l'air ambiant pendant une durée déterminée) auxquels ou en dessous desquels il n'y a pas d'effet sur la santé. Ceci ne signifie pas qu'il y ait un effet dès que les niveaux sont dépassés mais que la probabilité qu'un effet apparaisse est augmentée.

Polluants	Effets considérés sur la santé	Valeur recommandée par l'OMS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Durée moyenne d'exposition
PM 10 Particules	- affection des systèmes respiratoire et cardiovasculaire	50	24 heures
		20	1 an
PM 2.5 Particules		25	24 heures
		10	1 an
NO <sub>2</sub> Dioxyde d'azote	- faible altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)	200	1 heure
		40	1 an

## BLACK CARBON

### BILAN DES MESURES DE L'ANNEE 2018

Depuis 2014, AtmoSud mène plusieurs actions pour la surveillance et la connaissance des particules fines et leur composition chimique. C'est dans ce cadre qu'AtmoSud s'est notamment doté de plusieurs analyseurs de Black Carbon (BC) ou Aethalomètres.

En effet, au-delà des attentes réglementaires, l'utilisation des aethalomètres par AtmoSud, permet de produire une première caractérisation chimique des particules et donc une information sur les sources potentielles de la pollution particulaire.

Le BC provient des phénomènes de combustion. Les aethalomètres permettent de « séparer » le BC provenant la combustion de carburant fossile (BC<sub>FF</sub>) de celui produit par la combustion de biomasse (BC<sub>WB</sub>). Il est ensuite possible de quantifier la contribution de chacune de ces deux sources (PM<sub>WB</sub> et PM<sub>FF</sub>) à la concentration mesurée en PM<sub>10</sub>.

Ce bilan présente les résultats des mesures du Black Carbon, réalisées par AtmoSud au cours de l'année 2018 sur les sites d'Arson (Nice), Longchamp (Marseille) et Kaddouz (Marseille).

#### ► Moyennes annuelles constantes

Les concentrations moyennes annuelles en BC, BC<sub>WB</sub> et BC<sub>FF</sub> sont stables sur les trois sites depuis 2016. Arson et Longchamp présentent des concentrations équivalentes. Ce qui n'est pas le cas de Kaddouz, particulièrement sur le BC<sub>FF</sub>, probablement du fait la proximité de la rocade L2.

#### ► Influence saisonnière pour la combustion de biomasse (BC<sub>WB</sub> et PM<sub>WB</sub>)

Les PM<sub>WB</sub> contribuent à environ 20 % de la concentration des PM<sub>10</sub> sur les trois sites pendant l'hiver et à moins de 10 % pendant l'été. L'étude des profils journaliers en BC<sub>WB</sub> hivernaux montrent une augmentation de la concentration le soir. Cela correspond à la reprise du chauffage au bois résidentiel.

#### ► BC<sub>FF</sub> et PM<sub>FF</sub> directement reliés au trafic routier

En moyennes les PM<sub>FF</sub> représente entre 16 et 19 % des PM<sub>10</sub> sur les sites de fond urbains (Arson et Longchamp) et 23 % à Kaddouz, qui est à proximité directe de la rocade L2.

Les profils journaliers montrent deux pics les jours de semaine à Arson et Longchamp, qui sont reliés aux heures de pointe du trafic routier. À Kaddouz, la fréquentation de la rocade L2 tout au long de la journée entraîne une concentration de BC<sub>FF</sub> relativement stable entre 06h00 et 18h00, bien que les pointes correspondant aux trajets domicile-travail restent visibles.

#### ► Détermination sources de pollution

La mesure des PM<sub>10</sub> et l'estimation des PM<sub>WB</sub> et PM<sub>FF</sub> permet de déterminer si une augmentation du niveau de particules fines est due à la combustion de biomasse, au trafic, ou à un épisode de poussière crustales, voire mixte.

Plusieurs exemples d'épisodes de pollution par les PM sont examinés dans le présent bilan.

Autrice de l'étude : Lise BONVALOT - Revue : BouAlem MESBAH - Validation : Edwige REVELAT

Contact : BouAlem MESBAH - [boualem.mesbah@atmosud.org](mailto:boualem.mesbah@atmosud.org)